

**MEMORANDUM N° 125/2016**

**A:** CAMILA MARTÍNEZ ENCINA  
FISCAL INSTRUCTORA  
DIVISIÓN DE SANCIÓN Y CUMPLIMIENTO

**DE:** RUBEN VERDUGO CASTILLO  
JEFE DIVISIÓN DE FISCALIZACIÓN

**MAT.:** Responde Resolución Exenta D.S.C. / P.S.A. N°1191 del 17 de diciembre de 2015.

Fecha: Miércoles 30 de marzo de 2016

---

Junto con saludarla y en el marco del término probatorio dictado en el procedimiento sancionatorio Rol A-002-2013, mediante Res. Ex. D.S.C. / P.S.A. N° 1191, de 17 de diciembre de 2015, se adjunta Minuta Técnica de Evaluación de Riesgos a la Salud de la Población, para los fines que estime pertinente y dando respuesta al numeral 3 del Resuelvo III de la Resolución Exenta antes citada.

Sin otro particular, le saluda atentamente.

  
**RUBEN VERDUGO CASTILLO**  
**JEFE DIVISIÓN FISCALIZACIÓN**

  
JJV/AMR

**CC:**  
División de Fiscalización

## **MINUTA TÉCNICA DFZ:**

### **EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD DE LA POBLACIÓN EN EL MARCO DEL PROCEDIMIENTO SANCIONATORIO ROL A-002-2013.**

#### **RESUMEN EJECUTIVO**

La División de Fiscalización (DFZ) de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), en cumplimiento a lo dispuesto en la Res. Ex. DSC N°1191 del 17 de diciembre de 2015, ha preparado este documento de evaluación de riesgos a la salud humana con la finalidad de aportar antecedentes asociados a confirmar o descartar la generación de riesgos a la salud de la población de la localidad de Chollay en la comuna de Alto del Carmen, que pudiesen estar relacionados con los hechos infraccionales contemplados en el Ordinario U.I.P.S. N°58, de 27 de marzo de 2013, en particular aquél asociado a la no activación de los Planes de Alerta Temprana (PAT) por parte de la Compañía Minera Nevada SpA (en adelante CMN SpA o la empresa).

La metodología empleada, se ha construido en base a las directrices aportadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) y por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), además de documentos técnicos de carácter nacional, entre los que destacan aquellos generados por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

Para la identificación del grupo poblacional potencialmente afectado (delimitación del área de estudio) se han considerado las recomendaciones de la OPS referidas a levantar información demográfica de las comunidades humanas más cercanas al sitio analizado, que para este caso corresponde a la localidad de Chollay (conformada de acuerdo al Censo de 2002, por tres entidades pobladas: Chollay, Pachuy y El Canuto), emplazada en las cercanías del río del mismo nombre, donde también se ubica el punto de monitoreo NE-8, punto incluido en Plan de Monitoreo de Aguas Superficiales del Proyecto Pascua Lama, que de acuerdo a lo señalado por la empresa CMN SpA, durante la evaluación ambiental del Proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”, corresponde al primer punto de captación de agua para la bebida humana, localizado aguas abajo del Proyecto, en el cual la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°24/2006, compromete el monitoreo de la Norma Chilena de Agua Potable N°409/1.Of2005 (NCh 409).

De este modo y en base a los antecedentes recopilados ha sido posible construir un modelo conceptual aplicado al caso concreto, para comprender de manera simplificada y bajo supuestos conservadores, las relaciones entre las fuentes, las rutas y los receptores, es decir, el camino que sigue un contaminante desde su fuente hasta la población potencialmente receptora. Una vez definido este modelo y en base a las series de datos de calidad del agua disponibles para el punto de monitoreo NE-8, se procedió a identificar a aquellas sustancias químicas de riesgo potencial, es decir aquellos elementos que potencialmente podrían generar un riesgo para la salud de las personas, en base a la identificación de excedencias –durante un periodo de tiempo dado- a los valores de referencia establecidos tanto en la NCh N°409, como en los límites para los Parámetros de Drenaje Ácido de Roca, estos últimos establecidos en base a lo expuesto por el Segundo Tribunal Ambiental, en el Considerando Nonagésimo primero de la sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, Causa Rol R-06-2013.

Adicionalmente, se incluyeron dos puntos de control para analizar el comportamiento de aquellos elementos que potencialmente pudiesen generar riesgo a la salud de las personas, con el objeto de ampliar el análisis sitio específico en NE-8 y así evaluar la persistencia de un potencial riesgo en un punto ubicado aguas abajo de dicho punto de monitoreo, correspondiente al punto de monitoreo NE-9, ubicado en la misma sub subcuenca del Río Chollay. Asimismo se incluyó un punto de control

emplazado en una cuenca aledaña no influenciada por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos y que corresponde al punto de monitoreo VIT-8, emplazado en la subcuenca del Río El Carmen. Cabe señalar que ambos puntos de control adicionales forman parte del Plan de Monitoreo de Aguas Superficiales del Proyecto Pascua Lama.

Los pasos metodológicos considerados incluyeron la caracterización de la exposición, que para el caso estudiado se ha desarrollado para la población humana que extraería agua para la bebida directamente desde el punto de monitoreo NE-8, ya que de acuerdo a lo señalado por la empresa durante la evaluación ambiental, y como se mencionó anteriormente, este punto corresponde a la primera captación de agua potable, localizada aguas abajo del Proyecto minero Pascua Lama. Se estima que la población potencialmente afectada podría fluctuar al menos entre una persona y la totalidad de los habitantes de la localidad de Chollay, cuya población asciende a los 202 habitantes.

Posteriormente, se procedió a caracterizar cualitativa y cuantitativamente la toxicidad de aquellas sustancias químicas identificadas como de riesgo potencial, particularmente respecto de sus efectos crónicos.

Finalmente en la etapa de caracterización del riesgo se resumieron y combinaron de manera cuantitativa y cualitativa, los resultados obtenidos a partir de las etapas de caracterización de exposición y toxicidad, ello para estimar los riesgos de que se produzcan efectos adversos de tipo crónicos, para la salud de la población. Lo anterior fue calculado a través de la utilización de un Coeficiente de Peligrosidad (Hazard Quotient o HQ), para aquellas sustancias químicas que presentan efectos no cancerígenos; y a través del cálculo del Riesgo Extra de Cáncer durante el tiempo de Vida (RECV), para aquellas sustancias químicas identificadas que pueden presentar efectos cancerígenos. Todo lo anterior para la vía de exposición identificada en el modelo conceptual como prioritaria, es decir, la vía oral.

La serie de datos disponibles para efectos de la elaboración de la presente evaluación de riesgos en NE-8, fue dividida en cuatro sub-series temporales acorde a hitos asociados a la presencia del Proyecto Pascua Lama en el territorio: "Pre Proyecto", "Pre Infracción", "No Activación de los PAT" y "Post Infracción". Para estas cuatro sub-series temporales se efectuaron las estimaciones de riesgos cancerígenos y no cancerígenos.

Adicionalmente se ha procedido a caracterizar las incertidumbres y supuestos sobre los cuales se ha desarrollado la evaluación del riesgo a la salud de las personas.

A partir de los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana en la localidad de Chollay, en base a la serie de datos disponible para el punto de monitoreo NE-8, ha sido posible concluir lo siguiente:

- Las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas corresponden a: Hierro, Manganeso, Aluminio y Arsénico.
- Para Hierro, Manganeso y Aluminio se evaluó el riesgo asociado a efectos no cancerígenos. Para cada una de las sub-series temporales construidas en base a los datos de calidad de aguas, se calculó el coeficiente de peligrosidad (HQ), posteriormente se calculó el índice de Peligro Total o IPT (calculado a partir de la suma de los HQ de cada sustancia química). La única sustancia de riesgo potencial que por sí sola representaría un riesgo a la salud de la población (con un HQ sobre 1) corresponde al Manganeso, sustancia que además aporta en mayor porcentaje al Índice de Peligro Total (IPT). Las cuatro sub-series temporales evaluadas presentan Índices de Peligro Total mayores a uno, lo que implica potenciales riesgos no cancerígenos para la población que estaría consumiendo para la bebida directamente desde NE-8.

- El Arsénico corresponde a una sustancia cancerígena, por lo que la estimación de riesgos cancerígenos se realizó a través del cálculo del Riesgo Extra de contraer Cáncer durante el tiempo de Vida (RECV). Los resultados del riesgo individual obtenidos en las cuatro sub-series de tiempo consideradas superan el nivel de riesgo aceptable establecido por la US EPA, siendo la sub-serie temporal de “No Activación del PAT”, la que registró el valor de riesgo cancerígeno más alto en NE-8. Ahora bien, al calcular los valores de riesgo poblacional -esto es multiplicando el riesgo individual obtenido, por la población de la localidad de Chollay-, se obtiene que éste no alcanzaría un caso de cáncer por exposición crónica al arsénico, en ninguna de las sub-series temporales analizadas, esto debido a que el número de personas que habitan en la localidad de Chollay, según el Censo de 2002, alcanza sólo a los 202 habitantes.

La existencia de situaciones de riesgos durante la sub-serie de tiempo denominada “Pre Proyecto”, permite inferir que de manera previa a la construcción del Proyecto minero Pascua Lama en su conjunto, la sub subcuenca del Río Estrecho Chollay, ya contenía altos niveles de metales en sus aguas, asociados a las características mineralógicas del territorio. Esta afirmación se complementa con los resultados obtenidos en el punto de control VIT-8, ubicado en la cuenca del Río El Carmen, donde se realizó también una evaluación de riesgos con la finalidad de comparar la situación de riesgo en una cuenca que no habría sido afectada por los hechos infraccionales que dan origen a esta evaluación, los resultados obtenidos sugieren que para sustancias no cancerígenas los niveles de riesgo, medidos a través del Índice de Peligro Total, son menores en VIT-8 que en NE-8. Para sustancias cancerígenas -Arsénico- los valores de riesgo estimados para VIT-8, en las cuatro sub series temporales analizadas, superan los niveles de riesgo aceptable recomendados por la EPA, presentando una evolución diferenciada a aquella observada en el punto de monitoreo NE-8.

Finalmente, entre las conclusiones obtenidas, destaca que la metodología de evaluación de riesgos a la salud humana, no tiene herramientas específicas orientadas a identificar relaciones de causalidad entre los niveles de riesgo obtenidos en un sitio y la presencia de un proyecto específico en el territorio, por tanto impide confirmar o descartar que el proyecto Pascua Lama, por sí sólo, haya generado aportes adicionales al nivel riesgo pre existente en el territorio. Dado lo anterior, se realizó un ejercicio adicional consistente en comparar la evolución de los valores de riesgo obtenido -tanto cancerígenos como no cancerígenos-, en las distintas series de datos analizadas en el tiempo, mediante el cálculo de la razón entre el índice de peligro total resultante en la sub serie temporal “Pre Proyecto”, y las sub series temporales posteriores, con la finalidad de estimar aumentos en los valores de riesgo cancerígeno y no cancerígeno identificado en cada una de las sub-series temporales analizadas para cada punto de monitoreo considerado y para comparar entre sí, los puntos de monitoreo y de control empleados.

## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	5
1.1 Objetivos .....	6
1.1.1 Objetivo General .....	6
1.1.2 Objetivos Específicos.....	6
2 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA .....	6
2.1 Antecedentes de la Evaluación Ambiental del Proyecto minero Pascua Lama .....	6
2.2 Antecedentes del procedimiento Rol A-002-2013 de la SMA.....	8
3 EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD DE LA POBLACIÓN .....	9
3.1 Elementos a considerar indicados por el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental .....	9
3.2 Metodología empleada .....	10
3.3 Caracterización del Área de Estudio.....	11
3.3.1 Recolección y análisis información relevante. ....	11
3.3.2 Monitoreo ambiental en punto NE-8.....	29
3.3.3 Selección de Sustancias Químicas de Riesgo Potencial.....	32
3.4 Caracterización de la Exposición .....	33
3.4.1 Caracterización de la exposición en el área de estudio: Planteamiento de un Modelo Conceptual .....	34
3.4.2 Valores empleados para calcular la Dosis de Exposición .....	36
3.5 Caracterización de la Toxicidad.....	38
3.5.1 Caracterización cualitativa de la toxicidad.....	38
3.5.2 Caracterización cuantitativa de la toxicidad .....	42
3.6 Caracterización de riesgos para la población.....	43
3.6.1 Estimación de riesgos no cancerígenos.....	44
3.6.2 Estimación de riesgos cancerígenos.....	47
3.6.3 Caracterización del Riesgo para puntos de control considerados. ....	50
3.7 Discusión de los resultados obtenidos.....	59
3.8 Manejo de las Incertidumbres .....	63
3.9 Conclusiones.....	64
REFERENCIAS.....	69

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

De conformidad a lo mandatado por el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental, en su sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, en causa Rol R-06-2013 y al tenor del reinicio del procedimiento administrativo, causa Rol A-002-2013, mediante Resolución Exenta de la División de Sanción y Cumplimiento (en adelante, DSC) N° 696, de 22 de abril de 2015; a la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, SMA), le corresponde, emitir una opinión que otorgue antecedentes que permitan tomar decisiones asociadas a determinar o descartar la existencia de riesgo a la salud de la población o bien, determinar el número de personas cuya salud pudo haberse afectado, por la presencia de contaminantes que generen riesgo para la salud humana en la matriz ambiental agua superficial – específicamente en el punto de monitoreo NE-8-, los que puedan estar asociados a determinados hechos constitutivos de infracción, acaecidos durante el año 2013, con ocasión del actuar de Compañía Minera Nevada SpA (CMN SpA), empresa titular del Proyecto minero Pascua Lama, filial de Barrick Gold Corporation, que cuenta con dos autorizaciones de carácter ambiental a saber, RCA N° 24/2006 y RCA N° 39/2001, ambas de la Comisión Regional de Evaluación Ambiental, de la región de Atacama.

Para lo anterior, se procederá a contrastar los datos contenidos en: a) los informes del programa de monitoreo de aguas comprometidos por el Proyecto Pascua Lama, correspondientes a los períodos julio 2012- junio 2013, julio 2013- junio 2014, julio 2014 – junio 2015, b) los datos de línea de base para distintos parámetros de calidad de agua superficial correspondientes al período 1996 a 2005, y c) datos presentados por CMN SpA, en el marco del proceso de revisión de la RCA N°24/2006, desarrollado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que contiene información de parámetros de calidad de aguas para el período 2005 a 2012; todo ello para el punto de monitoreo NE-8, correspondiente al primer punto de captación de agua potable ubicado aguas abajo del Proyecto<sup>1</sup>. Los parámetros monitoreados, serán comparados con los valores de referencia establecidos en la Norma Chilena de Agua Potable N° 409, del año 2005 (NCh N°409), preparada por el Instituto Nacional de Normalización (INN), para así identificar y seleccionar los parámetros críticos o sustancias químicas de riesgo potencial, que posteriormente serán considerados en la estimación de riesgos a la salud humana. Adicionalmente y en caso de encontrarse parámetros que no estuviesen normados en la NCh N°409, pero para los cuales se hubiesen establecido límites a partir de los datos de línea de base de los parámetros indicadores de Drenaje Ácido de Roca (DAR), se utilizarán dichos umbrales máximos, en base a lo expuesto por el Segundo Tribunal Ambiental, en el Considerando Nonagésimo primero de la sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, Causa Rol R-06-2013.

Para el presente informe se han empleado dos puntos de control adicionales, en los que se ha aplicado la metodología utilizada para NE-8, para analizar el comportamiento de aquellos elementos que potencialmente pudiesen generar riesgo a la salud de las personas, con el objeto de ampliar el análisis sitio específico en NE-8 y así evaluar la persistencia del riesgo en un punto ubicado aguas abajo de dicho punto de monitoreo, y que corresponde al punto de monitoreo NE-9, ubicado en la misma sub subcuenca del Río Chollay. Asimismo se incluyó un punto de control emplazado en una cuenca aledaña no influenciada por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos y que corresponde al punto de monitoreo VIT-8, emplazado en la subcuenca del río El Carmen.

---

<sup>1</sup> Considerando N° 3.15 de la RCA N°24/2006

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo General

Desarrollar una evaluación de riesgos a la salud de las personas que habitan en la localidad más cercana al Proyecto minero Pascua Lama, correspondiente a la localidad de Chollay, para evaluar la eventual presencia de sustancias químicas de riesgo potencial en aguas superficiales de los ríos Estrecho y Chollay, con la finalidad de entregar insumos a la DSC de esta Superintendencia que permitan descartar o confirmar la existencia de riesgos a la salud de las personas, que pudiesen estar asociados a los hechos infraccionales en los que habría incurrido la empresa Compañía Minera Nevada SpA y sancionados por la SMA durante el año 2013, específicamente aquellos vinculados a la no activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) establecido en la RCA N°24/2006.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar el área de estudio seleccionada en términos demográficos, sociales, productivos e hidrográficos, tanto a nivel comunal, como a nivel sitio específico; recolectando además datos de los monitoreos desarrollados en el Punto NE-8, con la finalidad de identificar aquellas sustancias químicas de riesgo potencial, en base a las cuales posteriormente será desarrollada la evaluación de riesgos.
- b) Caracterizar la exposición crónica a las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas, a través del planteamiento de un modelo conceptual para la localidad de Chollay, con énfasis en los residentes, tanto niños como adultos.
- c) Caracterizar a nivel cualitativo y cuantitativo la toxicidad de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas en NE-8, con la finalidad de determinar criterios de toxicidad que permitan elaborar los cálculos requeridos para la evaluación de riesgo ambiental.
- d) Integrar la información obtenida a través de la implementación de las distintas etapas del procedimiento de evaluación de riesgos a la salud con la finalidad de caracterizar el riesgo al que se expone la población de la localidad, en un escenario conservador, consistente en la ingesta crónica de agua directamente desde el punto NE-8.

## 2 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

### 2.1 Antecedentes de la Evaluación Ambiental del Proyecto minero Pascua Lama

El Proyecto minero Pascua Lama, se compone por el Proyecto "*Pascua Lama*", cuyo Estudio de Impacto Ambiental (EIA), fue calificado favorablemente mediante Resolución Exenta N° 39, 25 de abril de 2001, de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Atacama (RCA N° 39/2001); y por el Proyecto "*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*", cuyo EIA fue calificado favorablemente mediante Resolución Exenta N° 24, de 15 de febrero de 2006, por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la región de Atacama (RCA N° 24/2006).

El Proyecto minero, se encuentra ubicado en la comuna de Alto del Carmen, provincia del Huasco, Región de Atacama, en una zona de alta montaña, sobre los 4.000 m.s.n.m., en la cabecera de dos subcuencas tributarias del río Huasco (la sub subcuenca del río del Estrecho por el norte, tributaria del río Chollay; y la sub subcuenca del río el Toro, por el sur, tributario del río del Carmen). Las

características climáticas y geográficas del área de emplazamiento del Proyecto -ubicado en una zona de interfase entre la región mediterránea (zona centro del país) y la región hiperárida (norte grande)- determinan una importante variabilidad climática interanual, a la que los frágiles ecosistemas y comunidades humanas han debido adaptarse, dependiendo en gran medida de los recursos hídricos aportados por las fuentes de agua subterránea, de deshielo y al caudal de los cursos de aguas superficiales (Villagrán, 2006).

En particular, el Proyecto “*Pascua Lama*”, evaluó la explotación a rajo abierto de un yacimiento de minerales de oro, plata y cobre. Los minerales mencionados, serían procesados para obtener como productos metal doré (oro, plata) y concentrado de cobre. El Proyecto contempla una serie de obras y operaciones mineras tanto en territorio chileno como en territorio argentino, contemplando una inversión estimada de 950 millones de dólares y una vida útil de 20 años según las reservas mineras de aquel entonces.

Por su parte, el Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*”, consistió en evaluar un conjunto de modificaciones relacionadas principalmente con un aumento en la superficie del rajo, un aumento en el ritmo de explotación de 37.000 ton/día a 48.800 ton/día, un aumento de la fuerza de trabajo para la operación de 1.370 personas a 1.660 personas, el establecimiento de un campamento en Quebrada Barriales, con capacidad para 750 personas, ajustes en el sistema de drenaje del depósito de estériles, y el establecimiento de un relleno sanitario para toda la vida útil del Proyecto. Las modificaciones en comento, implicarían una inversión estimada de 1.500 millones de dólares, con el fin de lograr una producción de oro proyectada en un rango de 675.000 a 700.000 onzas/año, alcanzando hasta 775.000 onzas/año durante los primeros diez años de operación; por su parte, la producción de plata alcanzaría un rango de 24 a 25 millones de onzas/año, con un máximo de 30 millones de onzas/año durante los primeros diez años; finalmente, la producción de cobre proyectada alcanzaría un promedio de 4.800 toneladas/año.

En la evaluación ambiental de este último Proyecto se indicó, en relación a los efectos, características y circunstancias señalados en la letra a) del artículo N°11 de la Ley N° 19.300, que éste requería la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental por generar o presentar “Riesgo para la Salud de la Población, debido a la Cantidad y Calidad de Efluentes, Emisiones o Residuos”, de conformidad al artículo 10 de la misma Ley, tal como consta en el considerando 6 de la RCA N° 24/2006. En particular, en el considerando 6.1, en relación a los efluentes, se indicó lo siguiente:

*“Con el propósito de verificar que el titular dará cumplimiento a la norma NCh 409, en el punto NE-8, se desarrolló un Modelo de dilución en que consideró todas las descargas del Proyecto a los cursos superficiales. Los efluentes del Proyecto tales como la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Domesticas y la Descarga de Planta de Tratamiento de Drenaje Ácido darán cumplimiento a los límites máximos establecidos en el DS 90/00, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a la Descarga de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, específicamente con la tabla que establezca la Dirección General de Aguas, dependiendo del caudal de dilución en cada punto de la descarga. Mientras no se cuente con este pronunciamiento formal el titular respetará los límites máximos establecidos en la Tabla N°1 (sin caudal de dilución).*

*Con relación a los parámetros que no se encuentran normados por el D.S. 90/2000 y que si se encuentran normados por la NCh 1.333 y NCh 409; es decir, plata total, bario total, berilio total, cromo total, litio total y vanadio total, residuos sólidos filtrables, color verdadero, coliformes totales, turbiedad, SAAM, olor, magnesio total, N-NH3, N-NH4, NO2, total y NO3 total, se espera que no debieran experimentar modificaciones respecto del contenido natural de las aguas del punto NE2 A (punto de descarga).*

*(...)El manejo del drenaje ácido será manejado de manera tal de mitigar y reducir el impacto sobre el Río El Estrecho en virtud de las obras de desvío captación y tratamiento de esta agua, previo a su disposición final. Según lo establecido en la página 116 del Informe Consolidado de la Evaluación. Además, previo a la descarga al Río se utilizará las aguas ácidas tratadas para uso industrial dentro del área de la mina. Como segunda alternativa se encuentra el almacenamiento del drenaje ácido y evaporación forzada y en tercer lugar se optará por la descarga al Río El Estrecho, medidas tendientes a reducir la necesidad de descargar en dicho cuerpo de agua, no obstante lo anterior, el titular ha señalado que en los periodos en que se descarga al Río El Estrecho, se mantendrá la calidad de agua potable en el punto N°8 donde se encuentra la primera captación para uso de bebida de las personas, adicionalmente.*

*Los monitoreos de calidad del agua en el Río El Estrecho están conformados por una red de 24 puntos, encontrándose 17 de ellos dentro del área de influencia del drenaje ácido. De estos 17 puntos, 5 forman parte del monitoreo del Plan de Alerta Temprana y Respuesta. En esos puntos se ha establecido valores para cada parámetro (Arsénico total, Aluminio total, conductividad eléctrica, cobre total, fierro disuelto, Fe+2, Fe+3, pH, Manganeso, sulfatos y zinc), los cuales son indicadores de un proceso de acidificación. El Plan de Alerta Temprana y Respuesta, tiene por objeto detectar tempranamente el inicio de un proceso de acidificación para proceder a las acciones detalladas en la página 124 del ICE, y de esta manera hacerse cargo de los efectos sobre la salud de la población. (...)*

Finalmente cabe señalar que el Proyecto Pascua Lama, inició su etapa de construcción el mes de octubre del año 2009, y que a partir del 24 de mayo de 2013, se encuentra paralizado.

## 2.2 Antecedentes del procedimiento Rol A-002-2013 de la SMA

Tras la ocurrencia de contingencias ambientales en el Proyecto Pascua Lama, se dio inicio al procedimiento administrativo sancionador Rol A-002-2013, motivado por la presentación de una autodenuncia de CMN SpA, de fecha 22 de enero de 2013, la que fue rechazada por esta Superintendencia, con fecha 31 de enero del mismo año, mediante Resolución Exenta N° 105, por no cumplir con los requisitos para su aprobación, establecidos en el D.S. N° 30/2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación. En dicha autodenuncia se mencionaba un conjunto de incumplimientos al Proyecto minero "Pascua Lama", lo que sirvió de antecedente para que la Superintendencia en colaboración con otros servicios públicos, realizara una serie de actividades de fiscalización ambiental, con fecha 24, 25 y 30 de enero de 2013; lo que conllevó a que el Superintendente de la época, decretara medidas provisionales, mediante Resolución Exenta N° 107, de 31 de enero de 2013, permitiendo que finalmente la entonces Unidad de Instrucción de Procedimientos Sancionatorios, actual División de Sanción y Cumplimiento (DSC), formulara cargos contra la empresa, mediante Ordinario U.I.P.S. N° 58, de 27 de marzo de 2013, por incumplimientos asociados principalmente al sistema de manejo de aguas de contacto y no contacto del Proyecto, entre otros.

Luego, con fecha 24 de mayo de 2013, mediante Resolución Exenta N° 477, el Superintendente, tal como se advierte en el Resuelvo Primero de la misma, sancionó con 16.000 Unidades Tributarias Anuales (en adelante, UTA) a CMN SpA, por la comisión de una serie de infracciones contempladas en la Ley Orgánica de la Superintendencia de Medio Ambiente (LO-SMA). A su vez, en el Resuelvo Segundo de la Resolución Exenta N° 477, se ordenó la adopción de medidas urgentes y transitorias, ordenándose: (i) la paralización total de las actividades de la fase de construcción del Proyecto, mientras no se ejecute el sistema de manejo de aguas en la forma prevista en la RCA N° 24/2006; (ii) construir transitoriamente las obras de captación, transporte y descarga al estanque de sedimentación norte, las cuales podrán operar exclusivamente durante el período necesario para

implementar las obras definitivas que permitan cumplir cabalmente las condiciones establecidas en la RCA; y (iii) seguimiento de las variables ambientales, contempladas en su autorización de funcionamiento, estando facultado para construir todas las obras asociadas y necesarias para ejecutar el mismo.

Posteriormente el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental, en sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, causa Rol R-06-2013, se pronunció sobre tres reclamaciones interpuestas a la resolución sancionatoria de la Superintendencia del Medio Ambiente, señalando en su considerando centésimo sexagésimo octavo que, la Resolución Exenta N°477, antes citada, adolecía de ilegalidad, por distintos motivos, entre ellos “1. Carecer de motivación suficiente en relación con la evaluación de la afectación a los recursos hídricos superficiales y subterráneos; [...] iv) en la determinación de las circunstancias establecidas en el artículo 40 de LO-SMA”.

A mayor abundamiento y con respecto a la calificación de algunas infracciones o bien, para la determinación de las circunstancias establecidas en el artículo 40 de la LO-SMA, el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental, estableció en el considerando septuagésimo de la sentencia en comento, que, “[...] al sancionar la SMA a la Compañía por no activar los planes de alerta temprana en el mes de enero de 2013, necesariamente debió señalar los efectos de dicha omisión -esto es, si hubo o no daño ambiental y descartar o confirmar si se afectó gravemente o se generó un riesgo significativo para la salud de la población, todo ello con la finalidad de calificar la infracción como grave o gravísima, conforme al artículo 36 de la LOSMA. Luego, para determinar la sanción específica debió, a lo menos, considerar si se ocasionó o no un peligro, de acuerdo a la letra a) del artículo 40 de la misma ley”.

### **3 EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD DE LA POBLACIÓN**

#### **3.1 Elementos a considerar indicados por el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental**

En este contexto y en virtud de que el Ilustre Segundo Tribunal Ambiental señaló ciertos lineamientos a incorporar, es que la SMA a través de este informe, procederá a caracterizar la situación de riesgo a la que pudo verse expuesta la población más cercana al Proyecto, particularmente aquella población emplazada en la sub-subcuenca del Río Estrecho/Chollay, asociado a los hechos infraccionales sobre la sub-componente ambiental calidad del agua superficial, en base al mandato judicial establecido en la sentencia causa Rol R-06-2013, que establece que los indicadores clave de la calidad del agua, entre otros son<sup>2</sup>:

- Indicadores de Drenaje Ácido de Roca (DAR): que son parámetros característicos y representativos cuya observación revelaría indicios de que el proceso denominado DAR – consistente en la lixiviación de rocas debido a su contacto con el agua -, está ocurriendo. Los parámetros establecidos como indicadores de DAR en el agua son: pH, Aluminio (Al), Arsénico (As), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Conductividad eléctrica (CE) y Sulfatos (SO<sub>4</sub>). El contenido de estos parámetros en el agua se encuentra regulado en la RCA N°24/2006, en relación a la línea de base del recurso agua o las normas NCh N°409 de agua potable o NCh N°1.333 de agua para diferentes usos.
- Turbidez: que corresponde al parámetro que mide la turbiedad de las aguas y que se encuentra regulado en la NCh N°409 sobre calidad del agua potable.

---

<sup>2</sup> Considerando septuagésimo octavo de la Sentencia del Segundo Tribunal Ambiental.

- Caudales: que corresponde al parámetro que mide la cantidad de agua que baja por una determinada cuenca en un momento del tiempo (cuyo flujo es medido en litros por segundo).

Si bien es cierto, la turbidez y el caudal corresponden a parámetros clave para la calidad de los aguas, estos no han sido empleados para la evaluación de riesgos a la salud, por no contar con dosis de referencia. En efecto para el caso de la turbidez, la OMS (2006) no ha propuesto un valor de dosis de referencia basado en efectos sobre la salud, sin embargo corresponde a un parámetro operativo que puede indicar la existencia de problemas asociados a la presencia de partículas de materia orgánica e inorgánica, como metales pesados en suspensión y/o disolución. Por otra parte, la relevancia de los caudales como indicadores de la calidad del agua superficial, radica en que debido a la alta variabilidad de los mismos en el territorio de la sub subcuenca alta de los ríos Estrecho/Chollay, las variaciones en este indicador pueden aportar ya sea a la capacidad de dilución de sustancias químicas, al tributar aguas desde los afluentes que se incorporan al río, o bien a aportar más sólidos en suspensión y/o dilución.

### 3.2 Metodología empleada

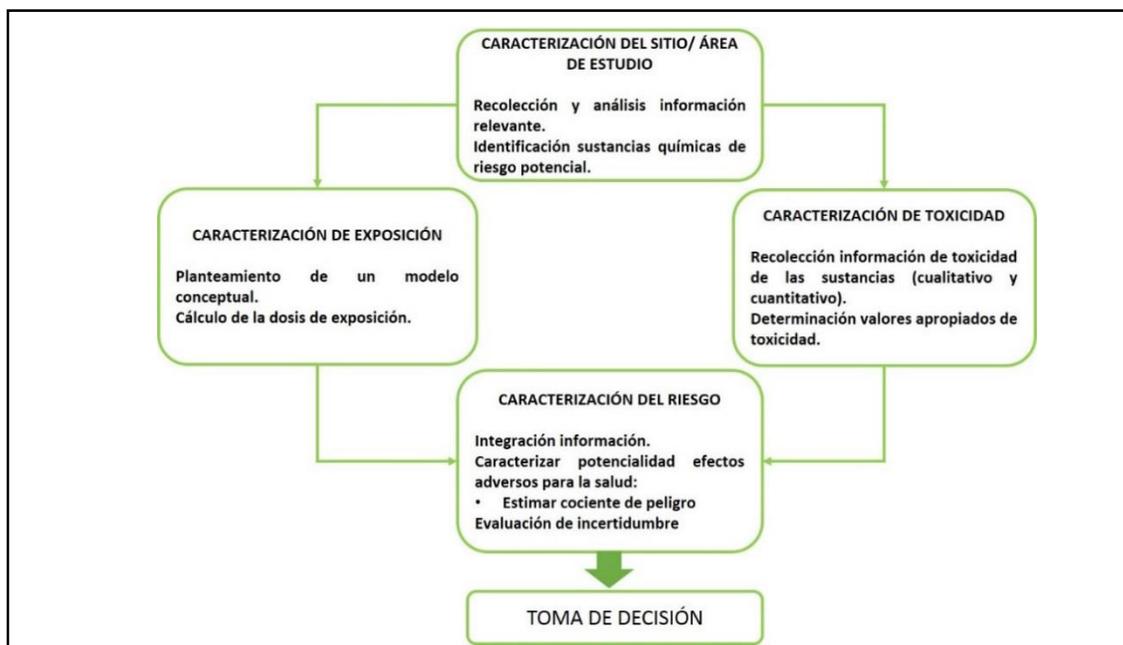
Para el desarrollo de esta evaluación de riesgo, se han utilizado algunos de los elementos de las metodologías desarrolladas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S.EPA; por sus siglas en inglés), en específico las orientaciones contenidas en la *“Guía de Evaluación De Riesgos para Superfund, Volumen I. Manual de Evaluación de la Salud Humana”* (Diciembre, 1989). Se ha utilizado además la *“Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados”* de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Enero 2005), la *“Guía de Evaluación de Impacto Ambiental del Riesgo para la salud de la población”*, del Servicio de Evaluación Ambiental (2012) y la *“Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de Contaminantes”* del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (Diciembre, 2012). Para efectos de una adecuada conceptualización, en este documento se considerará como:

- **Peligro**, la capacidad intrínseca de una sustancia, agente, objeto o situación, de causar un efecto adverso sobre un receptor (SEA, 2012).
- **Riesgo**, la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso sobre un receptor (personas o ecosistema) (SEA, 2012).
- **Exposición**, contacto potencial del receptor (individuo) con la fuente de peligro. La exposición puede ser aguda (de segundos a días), intermedia (subcrónica) o crónica (más de un año) (SEA, 2012).
- **Evaluación de Riesgo Ambiental**, a aquel procedimiento de análisis de la contaminación potencial presente en un lugar determinado, cuyo objetivo es establecer el riesgo que la misma supone, en el presente o futuro, para los sujetos de protección (poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos), de acuerdo con las características específicas del caso. Su finalidad es entregar elementos para tomar decisiones sobre la gestión del riesgo y las consecuentes medidas a adoptar (MMA, 2012).
- **Modelo Conceptual**, al relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de contaminantes desde la fuente, a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él (MMA, 2012).

Es así como a partir de las guías metodológicas utilizadas para desarrollar el presente análisis, se ha elaborado el esquema metodológico de trabajo que se presenta en la Figura 1, consistente en el desarrollo de 4 fases o etapas principales:

1. Caracterización del área de estudio.
2. Caracterización de la exposición humana.
3. Caracterización de la toxicidad de los contaminantes.
4. Caracterización del riesgo en la salud de las personas.

**Figura 1:** Esquema general de la metodología de evaluación de riesgos.



Fuente: Elaboración propia en base a EPA, 1989 y MMA, 2012.

### 3.3 Caracterización del Área de Estudio

El área de estudio se localiza en la comuna de Alto del Carmen, en la región de Atacama, más específicamente en la sub subcuenca del río Estrecho/ Chollay, en cuya cabecera ocurrieron los hechos infraccionales constitutivos de infracción que motivan la presente evaluación de riesgos a la salud de la Población, asociada a la presunta alteración de la calidad de sus aguas superficiales.

Cabe destacar que el área de estudio establecida para la presente evaluación de riesgos a la salud de las personas, a su vez forma parte del área de influencia del Proyecto Minero Pascua Lama, el cual además de la comuna de Alto del Carmen, incluye a la comuna de Vallenar.

#### 3.3.1 Recolección y análisis información relevante.

El proceso de recolección y análisis de información relevante fue desarrollado en dos niveles, de acuerdo a la definición del área de estudio. Por una parte se levantó información comunal de Alto

del Carmen, ello para caracterizar el contexto en el cual se inserta el área de estudio. Por otra parte se sistematizó la información sitio específica existente respecto de la localidad de Chollay.

### 3.3.1.1 Nivel contextual: Comuna de Alto del Carmen

#### a) Antecedentes demográficos en la comuna de Alto del Carmen

La sub sub-cuenca del río Estrecho/ Chollay se localiza al sur este de la región de Atacama, provincia del Huasco y Comuna de Alto del Carmen. De acuerdo al Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en el año 2002 y correspondiente a la fuente de información censal oficial más actualizada, la población de la Región de Atacama ascendía a 254.336 habitantes, la de la provincia del Huasco, a 66.491 habitantes y la de la comuna de Alto del Carmen a 4.840 habitantes. El siguiente cuadro presenta la población del área de estudio, según la estructura urbana y rural:

**Tabla 1:** Población comunal respecto del contexto nacional, regional y provincial.

Escala de análisis	Población Total	Población Urbana		Población Rural	
		N°	%	N°	%
País	15.116.435	10.090.113	86.6	2.026.322	13.4
Región de Atacama	254.336	232.619	91.5	21.717	8.5
Provincia del Huasco	66.491	53.664	80.7	12.827	19.3
<b>Comuna de Alto del Carmen</b>	<b>4.840</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.840</b>	<b>100</b>

Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2002 (INE).

Como puede observarse, la población de la comuna de Alto del Carmen es 100% rural, por encima de los porcentajes de ruralidad a nivel provincial, regional y nacional.

Por otro lado, al analizar la distribución de la población según sexo, se observa que en los territorios rurales el número de hombres supera al de mujeres, a diferencia de lo que ocurre en zonas urbanas. El siguiente cuadro presenta la distribución por sexo en zonas urbanas y rurales, presentando además el índice de masculinidad por zona (urbana y rural).

**Tabla 2:** Población comunal por sexo respecto del contexto nacional, regional y provincial.

Escala de análisis	Población Total	Urbana		IM*	Rural		IM*
		Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres	
País	15.116.435	6.366.311	6.723.802	95	1.081.384	944.938	114
Región de Atacama	254.336	248.015	234.531	105	8.150	3.288	247
Provincia del Huasco	66.491	25.769	27.895	92	6.943	5.884	118
<b>Comuna de Alto del Carmen</b>	<b>4.840</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	---	<b>2.629</b>	<b>2.211</b>	<b>119</b>

\*Índice de Masculinidad: Corresponde al número de hombres por cada 100 mujeres.

Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2002 (INE).

De acuerdo a los datos aportados a la SMA por parte del INE<sup>3</sup> correspondientes al Censo del año 2002, la comuna de Alto del Carmen, posee tres entidades pobladas en la categoría de aldea<sup>4</sup>, 54

<sup>3</sup> Información entregada a esta Superintendencia a través de Ordinario INE N°590 del 17 de abril de 2015 y disponible en numeral 58 del expediente de Sanción: <http://snifa.sma.gob.cl/RegistroPublico/ProcesoSancion/VerExpediente?expediente=A-002-2013>

<sup>4</sup> Asentamiento humano, concentrado con una población que fluctúa entre 301 y 1.000 habitantes (INE, 2002).

entidades en la categoría de caserío<sup>5</sup> y 24 entidades pobladas que se encuentran en alguna de las siguientes categorías: parcela – hijuela, fundo - estancia – hacienda, asentamiento minero o veranada - majada – aguada. De acuerdo a la información demográfica entregada por el INE a solicitud de esta Superintendencia, puede señalarse que:

- Las entidades pobladas que se encuentran en la categoría de Aldea, corresponden a Alto del Carmen, El Tránsito y San Félix; y poseen un número de población que va entre los 308 y los 461 habitantes. Las entidades que corresponden a la categoría Caseríos, poseen una población que va desde 1 a 184 habitantes. Para las entidades pobladas de menor tamaño, la población fluctúa entre 1 y 27 habitantes.
- En las aldeas de Alto del Carmen y San Félix, el índice de masculinidad asciende a 97 y 85, respectivamente, índice menor al comunal. Esta situación se modifica en los caseríos en donde la cantidad de hombres es mayor a la cantidad de mujeres, misma situación que se evidencia en entidades pobladas de menor tamaño.
- Respecto de la composición etaria de las entidades pobladas que componen la comuna de Alto del Carmen, cabe destacar que para el año 2002, la población emplazada en las Aldeas de la comuna, se concentraba en los segmentos etarios de 0 a 14 años (409 personas), seguido del segmento 25 a 39 años con 261 personas. Una situación distinta puede observarse en las entidades pobladas menores, en las cuales, si bien es cierto se encuentra una menor cantidad de habitantes, éstos se concentran en el segmento etario de 30 a 64 años.

#### ***b) Distribución de la población en la comuna de Alto del Carmen***

Las características geográficas, climáticas e hidrogeológicas del territorio, determinan un asentamiento de la población en torno a los principales cursos hídricos de la parte alta de la cuenca del Huasco: en los valles de El Tránsito o “valle de los naturales”, por el norte y del Carmen o “valle de los españoles” por el sur (DGA, 2004, pág. 1), donde es posible observar una extensa red de asentamientos que, condicionados por la estrechez de los valles, se disponen en torno a la red hídrica en forma de aldeas, tales como Alto del Carmen, El Tránsito y San Félix; caseríos y entidades más pequeñas (fundos, asentamientos mineros, majadas o veranadas, comunidades agrícolas y comunidades indígenas, entre otros).

La existencia de ríos, esteros y quebradas, propicia una cultura estrechamente ligada al agua, la que es utilizada para la agricultura, bebida de animales, para el consumo humano y para fines recreativos (Salinas, 2007). Así, estos asentamientos poblados se dedican principalmente a la agricultura, donde se presenta predominantemente una agricultura de subsistencia familiar campesina, con algunas superficies mayores de cultivo que muestran una agricultura a mayor escala y pequeña ganadería en la parte alta del valle.

Para definir el patrón de asentamiento de la población en la comuna de Alto del Carmen, la SMA, a través de Oficio Ord. N°480, del 17 de marzo del 2015, solicitó información poblacional al Instituto Nacional de Estadísticas (INE), relativa a entidades pobladas de la comuna (población total, hombres, mujeres, distrito censal, estructura etaria, nivel de instrucción, pertenencia a pueblos indígenas, Población Económicamente Activa (PEA), Número, tipo y tenencia de vivienda, origen del agua domiciliaria, sistema de eliminación de excretas y disponibilidad de energía eléctrica). Adicionalmente se solicitó información georreferenciada del emplazamiento de dichas entidades pobladas. El organismo, respondió a través de Oficio Ordinario N°590, del 17 de abril de 2015, entregando los antecedentes demográficos solicitados, indicando que no cuenta con archivos

---

<sup>5</sup> Asentamiento humano con nombre propio que posee 3 viviendas o más cercanas entre sí, con menos de 301 habitantes (INE, 2002).

digitales con la localización de las entidades pobladas informadas, debido a lo cual se recurre al Sistema de Información Territorial de la Superintendencia del Medio Ambiente (NEPAssist), para proceder a geolocalizar la información demográfica entregada. La Figura 2 presenta el emplazamiento de las entidades pobladas identificadas por el INE, de acuerdo a los datos oficiales del Censo de Población y Vivienda del año 2002, en base a la información cartográfica contenida en el Sistema de Información Territorial de la SMA, aportada por el ex Ministerio de Planificación (actual Ministerio de Desarrollo Social), para la capa de "localidades". Paralelamente, a través de Oficio Ordinario N°478, del 17 de marzo de 2015, la SMA le solicitó a la Ilustre Municipalidad de Alto del Carmen, una individualización de las localidades, viviendas y/o asentamientos, permanentes y/o semipermanentes emplazados entre la confluencia del Río Estrecho con la Quebrada Barriales, hasta la confluencia del Río Estrecho/ Chollay con el Río Pachuy, incluyendo aquellos asentamientos/viviendas emplazados en las subcuencas de la Quebrada Barriales, Río El Toro, Río Blanco, Río Pachuy, Río Chollay, Río Conay y Río del Carmen, solicitando que se señale el número de viviendas y/o asentamientos con su respectiva población, así como las principales actividades productivas, los principales usos del agua de los grupos humanos emplazados en dicha zona, las coordenadas de emplazamiento de cada vivienda/ asentamiento y los puntos de acceso al agua para consumo humano, animal, riego u otros. A través de Oficio Ordinario N° 68, de 30 de junio de 2015<sup>6</sup>, la Municipalidad entregó la información solicitada.

La Figura 3 presenta el emplazamiento de asentamientos semipermanentes, asociados a la permanencia de familias e individuos en alta montaña, durante los periodos de veranadas que en general, y de acuerdo a lo señalado por el municipio de Alto del Carmen, se extienden desde diciembre hasta abril; y para los crianceros que tienen ganado vacuno, se extiende desde agosto hasta mayo.

---

<sup>6</sup> Disponible en numeral 75 del expediente de Sanción: <http://snifa.sma.gob.cl/RegistroPublico/ProcesoSancion/VerExpediente?expediente=A-002-2013>

Figura N°2: Entidades pobladas de la Comuna de Alto del Carmen, de acuerdo a Censo 2002, INE.

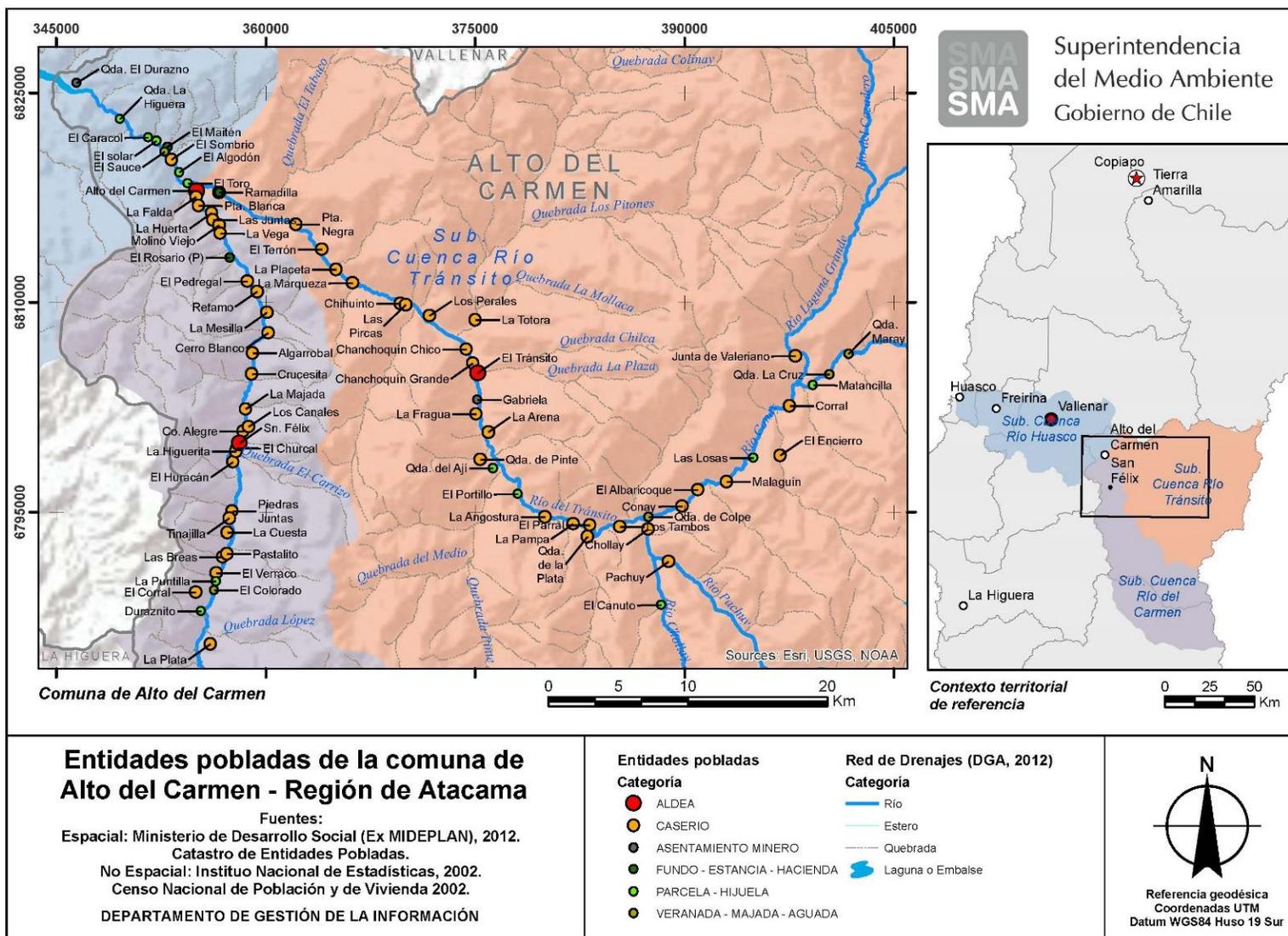
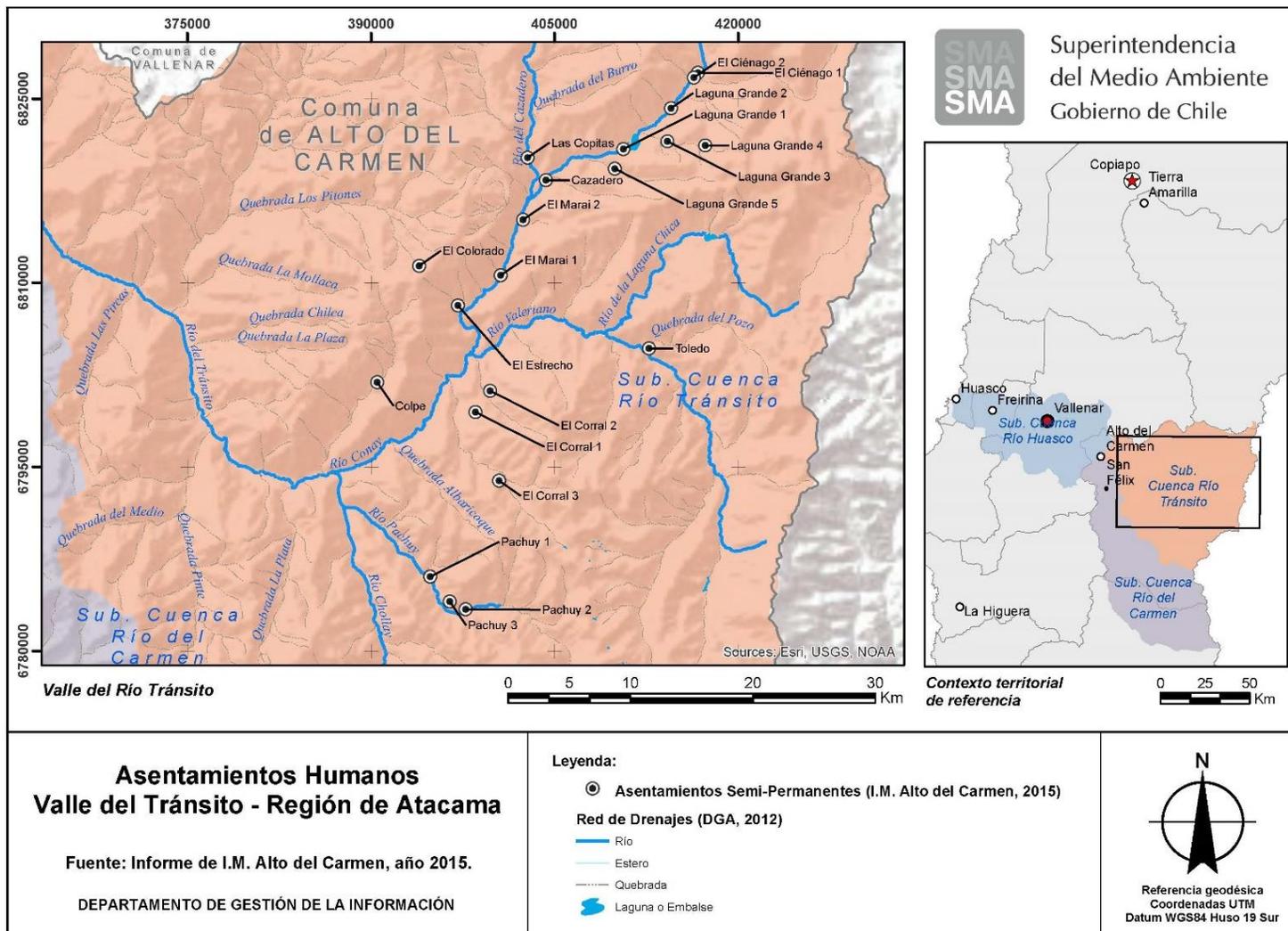


Figura N°3: Asentamientos humanos semipermanentes en el Valle del Tránsito, informados por I.M. Alto del Carmen, 2015.



Puede observarse que la estructura de poblamiento de la comuna de Alto del Carmen se caracteriza por un emplazamiento de población en los tributarios superiores de la cuenca del Río Huasco, vale decir en la subcuenca del Río El Tránsito, en la parte norte del territorio comunal y en la subcuenca del Río El Carmen, en la parte sur del territorio comunal.

La información aportada por el INE, ha sido complementada con los antecedentes entregados por la Municipalidad de Alto del Carmen, los que se encuentran actualizados al año 2015, con lo que se obtiene, la existencia de asentamientos en su mayoría individuales y semipermanentes, asociados a la realización de actividades de trashumancia, así se identifica la existencia de asentamientos en el curso alto del río Laguna Grande, sector de Laguna Grande, identificándose además asentamientos emplazados aguas arriba del caserío Juntas de Valeriano (ver figura 3), los habitantes de estos sectores se dedican fundamentalmente a la crianza de ganado. Las captaciones de agua son utilizadas fundamentalmente para la bebida humana y animal y en el caso del asentamiento Laguna Grande 1, se le suma a dichos usos, el riego de plantaciones de granos utilizados para el sustento familiar durante el tiempo que permanecen en alta cordillera.

Aguas abajo de la confluencia del río Laguna Grande con el río Valeriano, que da origen al río Conay, la Municipalidad de Alto del Carmen, informa la presencia de cuatro (4) asentamientos en donde se desarrollan actividades productivas asociadas tanto a la crianza de ganado como al cultivo de frutales, ampliándose el uso del recurso hídrico, al regadío.

Finalmente, el Municipio informa la existencia de 3 asentamientos individuales, asociados a la realización de veranadas, que se localizan en la cabecera del río Pachuy, aguas arriba del caserío de Pachuy identificado en el censo de 2002. La Municipalidad también entrega antecedentes respecto del asentamiento denominado Tres Quebradas, emplazado en las cercanías del río Tres Quebradas en la Subcuenca del río El Carmen (ubicada en el sector sur de la comuna de Alto del Carmen).

### ***c) Abastecimiento de agua para bebida y para riego en la comuna de Alto del Carmen***

Respecto al acceso al agua, el Anexo VII – C de la Adenda 2 del EIA del Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*”, señala que la población de la comuna de Alto del Carmen depende de manera significativa de los flujos naturales de los ríos que nacen de la alta cordillera, para usos tales como agua potable, regadío y crianza de ganado. En relación al suministro de agua para regadío, se indica que éste es gestionado por la Junta de Vigilancia de la cuenca del río Huasco y sus afluentes, a través de acciones de agua. Señala además que el suministro de agua para uso doméstico es manejado por los Comités de Agua Potable Rural, los que de acuerdo a lo indicado en dicho documento, mantienen sistemas de tratamiento de aguas de baja tecnología, orientados a la remoción de sedimentos fundamentalmente. Finalmente se indica que los crianceros, durante las veranadas, conducen a su ganado a valles situados en la parte alta de la cuenca, donde dependen del agua aportada por vertientes naturales tanto para el consumo animal, como para el consumo humano.

De acuerdo a los antecedentes presentados por la propia CMN SpA durante el proceso de evaluación ambiental del Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*” – que se desarrolló entre los años 2004 y 2006-, se informa en relación al abastecimiento de agua para distintos usos, lo siguiente:

- El sector en el que se emplaza el punto de monitoreo NE-4, ubicado en el Río Estrecho aproximadamente 18 km aguas abajo del área donde se emplaza la mina, corresponde a la captación de agua para riego más cercana al Proyecto.

- El sector en que se emplaza el punto de monitoreo NE-8, también ubicado en el Río Estrecho aproximadamente 15 km aguas arriba de Conay, corresponde a la captación de agua potable más cercana al área del Proyecto. Esto último explica la relevancia de NE-8 a la hora de evaluar el riesgo a la salud de las personas.

En cuanto a la infraestructura de Agua Potable Rural (APR), de acuerdo a lo señalado por el Ministerio de Obras Públicas en su documento “Identificación de brechas para la disponibilidad de agua potable rural, Chile: Todos con agua. Regiones piloto Atacama y Los Ríos” (MOP, 2014), la comuna de Alto del Carmen cuenta con 19 sistemas de Agua Potable Rural, dos de los cuales se encuentran ubicados en la sub subcuenca del Río Estrecho – Chollay<sup>7</sup>, la Tabla 3 presenta información respecto de estos sistemas APR.

**Tabla 3:** Sistemas de Agua Potable Rural ubicados en sub subcuenca río Estrecho/ Chollay, comuna de Alto del Carmen.

Nombre APR	Año puesta en marcha	N° Arranques	Población Abastecida	Organización
Chollay	2008	71	223	Comité
Conay-los Tambos	1995	133	419	Comité

Fuente: MOP, 2014

A través de Oficio N°68 del 30 de junio de 2015, la Municipalidad de Alto del Carmen entregó información sobre puntos de captación de agua para el consumo humano, animal o riego, asociada a los asentamientos individuales en las zonas de pastoreo de veranadas identificados en el apartado anterior. Estas captaciones de agua, se presentan en la Figura 7 (que se muestra más adelante), la que además presenta la localización de los sistemas APR de Chollay y Conay – Los Tambos, así como los puntos de captación de agua para la bebida humana y para el riego, los cuales fueron identificados por CMN SpA durante la evaluación ambiental del Proyecto.

#### **d) Condiciones socioeconómicas de la comuna de Alto del Carmen**

A nivel comunal y de acuerdo a los datos de la encuesta Casen 2011, existe un 4,5% de hogares en los que se presentan situaciones de pobreza (indigencia y no indigencia). Esta cifra se encuentra por debajo de los niveles de pobreza a nivel regional (11%) y nacional (12,1%). Por otra parte el ingreso promedio de los hogares (considerando ingreso autónomo y subsidio monetario<sup>8</sup>) alcanza los \$489.306, valor que se encuentra por debajo de los ingresos promedios a nivel regional (\$796.698) y nacional (\$800.274). Para la comuna destaca el aporte que significan los subsidios al ingreso total de las familias, que alcanza un 5% del ingreso total (Reportes Comunales Biblioteca del Congreso Nacional, 2013<sup>9</sup>).

<sup>7</sup> Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico, del Ministerio de Obras Públicas: <http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Mapa>

<sup>8</sup> Aportes en efectivo que distribuye el Estado a las personas y los hogares a través de sus programas sociales.

<sup>9</sup> Información disponible en: [http://reportescomunales.bcn.cl/2013/index.php/Alto del Carmen#Poblaci.C3.B3n por grupos de edad 2002 y proyctada 2012 INE](http://reportescomunales.bcn.cl/2013/index.php/Alto%20del%20Carmen#Poblaci.C3.B3n%20por%20grupos%20de%20edad%202002%20y%20proyctada%202012%20INE).

**e) Actividades económicas y productivas de la comuna de Alto del Carmen**

A nivel regional la minería es la principal actividad económica (45% del producto interno bruto –PIB-regional), destacando la producción de cobre, oro, plata, hierro y molibdeno. La agricultura es la segunda actividad económica en importancia, aportando cerca del 11% del PIB regional (producción de uva de exportación). También destaca el comercio con un 11 %, seguido por la pesca con un 4%, la industria manufacturera con un 3% y el sector servicios básicos (electricidad, gas y agua) con un 2% del PIB regional.

Para la comuna de Alto del Carmen, se hace necesario conocer las características del empleo y de las actividades económicas, para así comprender la vocación de los espacios locales. Si se considera el número de empresas por rama de actividad económica, en la comuna de Alto del Carmen, predominan empresas relacionadas con la agricultura (ganadería, caza y silvicultura), seguidas de empresas asociadas al comercio por mayor y menor; y hoteles y restaurantes. Del mismo modo, al considerar el número de trabajadores por rama de actividad, para la comuna de Alto del Carmen, es posible observar que la mayor cantidad de trabajadores se encuentran en actividades económicas relacionadas a la rama agricultura, ganadería, caza y silvicultura, seguidos por la rama administración pública y en tercer lugar, construcción. La Tabla 4 presenta la distribución de la Población Económicamente Activa (PEA) por categoría ocupacional de acuerdo al Censo de 2002.

**Tabla 4:** Población económicamente activa (PEA) en la comuna de Alto del Carmen.

<b>Cód. INE</b>	<b>Rama de Actividad</b>	<b>Población Económicamente Activa (PEA)</b>	<b>Porcentaje %</b>
A	Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	978	55
B	Pesca	7	0.4
C	Explotaciones de Minas y Canteras	61	3.4
D	Industrias Manufactureras	44	2.5
E	Suministro de electricidad, gas y agua	7	0.4
F	Construcción	131	7.3
G	Comercio al por mayor y menor, repuestos, vehículos, automotores, enceres domésticos	182	10.2
H	Hoteles y restaurantes	29	1.6
I	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	24	1.3
J	Intermediación financiera	1	0.06
K	Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	28	1.6
L	Administración pública y defensa, planes de seguridad social afiliación obligatoria	65	3.6
M	Enseñanza	117	6.5
N	Servicios Sociales y de Salud	32	1.8
O	Otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales	21	1.2
P	Hogares privados con servicio doméstico	32	1.8
Q	Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
	Sin información	30	1.7
	<b>Total</b>	<b>1789</b>	<b>100</b>

*Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2002 (INE)*

De acuerdo a lo anteriormente señalado, es posible afirmar que la principal actividad económica comunal es la agropecuaria. En Alto del Carmen existen 1.181 explotaciones agropecuarias, de las cuales 1.050 cuentan con actividad. Los suelos de cultivo alcanzan las 3.694,8 ha, de las cuales 1.898 ha se destinan a cultivos anuales y permanentes, y tan sólo 164 ha se destinan a especies forrajeras y de rotación. El 45% restante de los suelos de cultivo se encuentran en barbecho y descanso (CNR. Vol.3, 2011, pág. 80).

## f) Hidrología

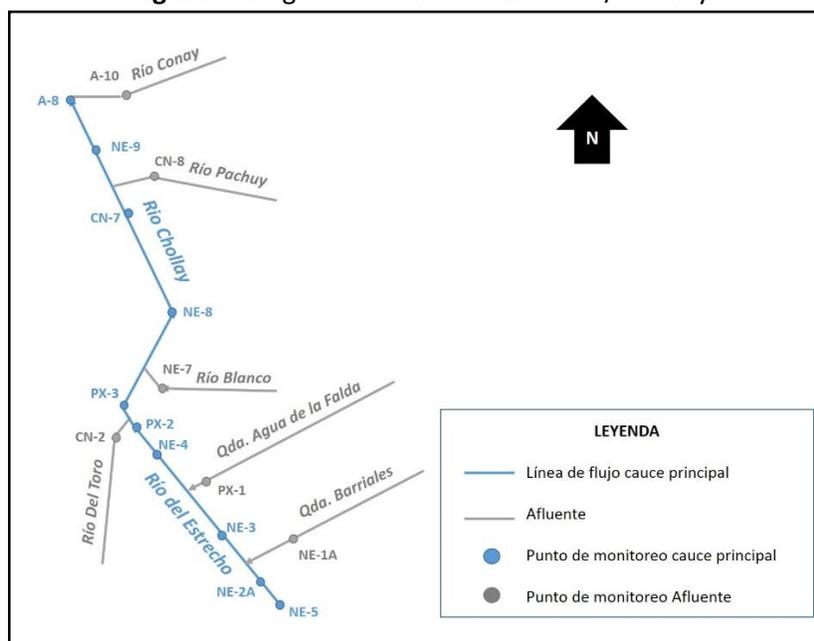
El área de estudio, se emplaza en la sub-subcuenca del Río Estrecho/Chollay, que en su confluencia con el Río Blanco, pasa a denominarse Río Chollay y que se va incorporando sucesivamente a los diversos ríos que drenan la zona cordillerana y que conforman la red de drenaje del río Huasco, uno de los principales ríos de la Región de Atacama.

La sub-subcuenca del Río Estrecho/Chollay ocupa una extensión de 128,3 km<sup>2</sup>. Sus aguas están alimentadas por los aportes de algunas quebradas como Barriales y La Falda. Su régimen hidrológico es fundamentalmente nival, con precipitaciones lluviosas ocasionales. Los mayores caudales registrados se presentan de noviembre a enero. La presencia de glaciares en su cabecera, los cuales experimentan derretimiento en condiciones estivales, proporciona el agua a pequeñas quebradas que luego escurren hacia el cauce principal. Aguas abajo del Río Estrecho y partir de su confluencia con el Río Blanco, se conforma el Río Chollay, que además recibe aportes de las quebradas Chañarcillo y Canuto y del Río Pachuy.

De la confluencia del Río Chollay y del Río Conay (originado a su vez, de la unión de los ríos Valeriano, Laguna Grande y Laguna Chica), nace el Río el Tránsito, con una subcuenca de desarrollo este – oeste. Este río tiene un régimen hidrológico nivo-pluvial con una reducida cantidad de precipitaciones anuales en la cuenca: 50 mm/año en el curso bajo de la cuenca, hasta un máximo de 500 mm/año en su extremo superior sur. Los mayores caudales mensuales ocurren de noviembre a enero.

La Figura 4 presenta un esquema general unifilar del Río Estrecho/ Chollay, para comprender de manera didáctica los distintos aportes de los cursos de aguas que lo alimentan hasta su confluencia con el Río Conay, donde se transforma en el Río El Tránsito.

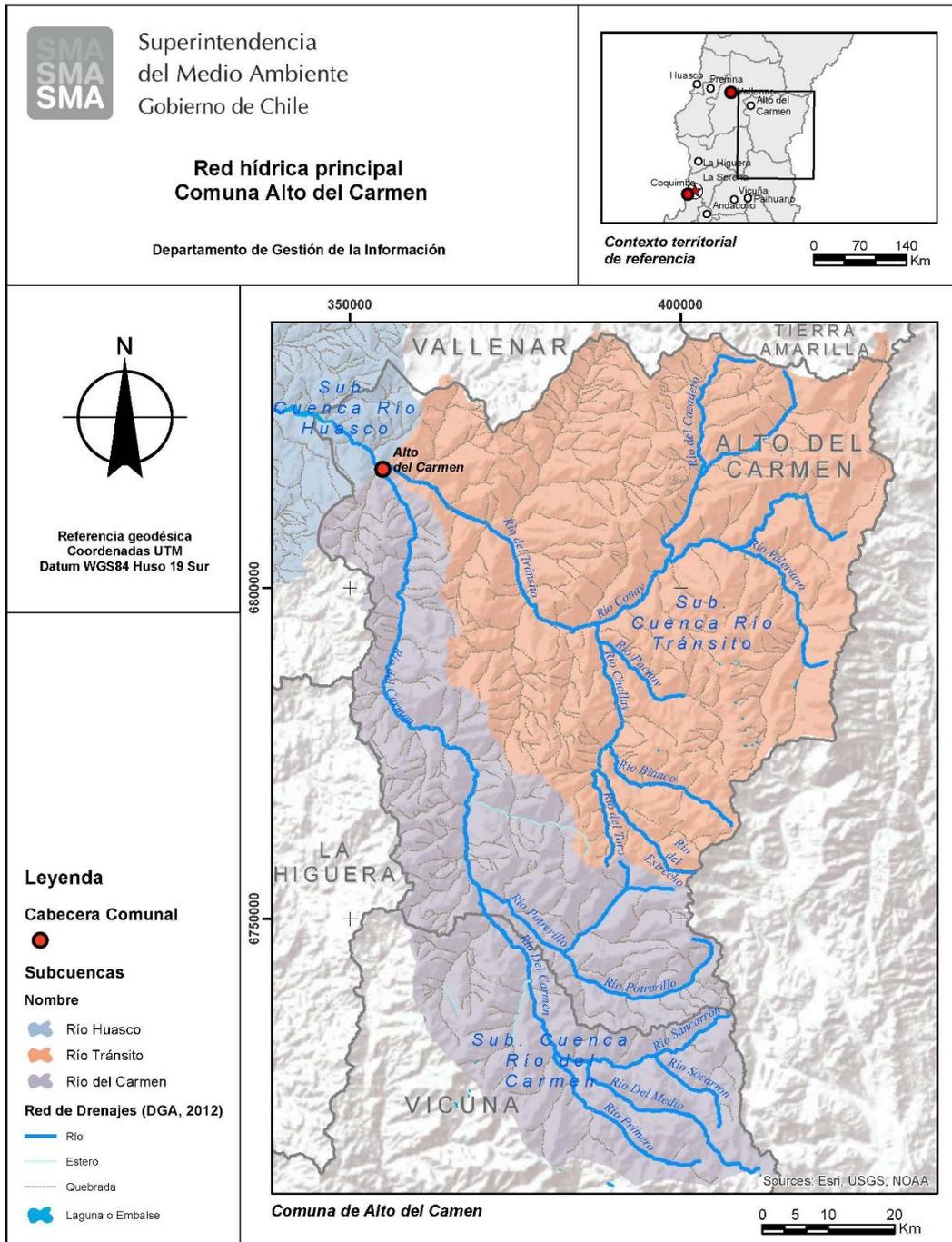
**Figura 4:** Diagrama Unifilar Río Estrecho/ Chollay



Fuente: Elaborado en base a "Programa de Monitoreo de aguas Proyecto Pascua Lama. Julio 2014 – junio 2015". Barrick – Proust, 2015

A modo de contexto territorial, cabe destacar que de la confluencia de los Ríos El Carmen y El Tránsito, en el sector denominado La Junta del Carmen, se origina el Río Huasco. La Figura 5, presenta la distribución espacial de la red hidrográfica, observándose las dos subcuencas que posteriormente alimentan al Río Huasco, a saber: Subcuenca del Río Tránsito por el norte y subcuenca del Río El Toro/ El Carmen por el sur.

**Figura 5:** Red Hidrográfica en la Comuna de Alto del Carmen.



### **g) Calidad de las aguas**

En la parte alta del Río Estrecho existen aguas de características ácidas que contienen aluminio, cobre, sulfatos y zinc, producto de la mineralización natural del área. El manganeso es el elemento que en todos los puntos monitoreados para la elaboración de la Línea de Base del proyecto “Modificaciones del Proyecto Pascua Lama”, presenta concentraciones mayores que el nivel de referencia de la Norma Chilena NCh N° 1.333 (Requisitos de calidad del agua para diferentes usos, específicamente para riego). En la sub subcuenca del Río Estrecho, “*el pH de las aguas varía a medida que se incorporan afluentes, pasando de un pH ácido en la parte alta a un pH neutro aguas abajo*” (EIA Proyecto “Modificaciones del Proyecto Pascua Lama”, Capítulo 5, Arcadis Geotecnia, 2004, pág. 5). En relación a la calidad de las aguas subterráneas, éstas poseen un comportamiento similar al de las aguas superficiales (EIA Proyecto “Modificaciones del Proyecto Pascua Lama”, Capítulo 5, Arcadis Geotecnia, 2004).

Respecto a la calidad de las aguas en la cuenca del Río Huasco en general, se ha revisado el documento “Estudio de Prefactibilidad Proyecto de mejoramiento del Sistema de Riego en el Río Carmen, Región de Atacama”, elaborado por la Comisión Nacional de Riego (2011), el cual en base a la revisión de una serie de fuentes de información bibliográfica para la cuenca del Río Huasco, señala que:

- Dentro de los parámetros críticos para el cumplimiento de la Norma Chilena N° 1.333 (estándares de riego) en la cuenca del Río Huasco se cuentan la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, el sodio porcentual, el Manganeso, los sulfatos y algunos metales pesados. Las concentraciones de dichos parámetros en agua, estarían asociadas a las características mineralógicas del subsuelo, caracterizándose por presentar metales en condiciones naturales.
- En monitoreos realizados por el INIA, se observa que en la cabecera de la cuenca, en los ríos Estrecho (sub cuenca El Tránsito) y Potrerillos (sub cuenca El Carmen), existen valores de pH bajo las 5,0 unidades, es decir, son aguas ácidas. Esta razón explicaría las altas concentraciones de algunos metales: manganeso, hierro, zinc, aluminio y cadmio, ya que los metales, se disuelven más fácilmente en condiciones de pH bajo.

### **h) Influencia de Actividad Agropecuaria en la calidad de las aguas**

De acuerdo a la DGA (2004), uno de los factores que estaría incidiendo en la calidad de las aguas y en la presencia de coliformes fecales en ésta, sería la presencia de ganado en la parte alta de la cuenca del Río Huasco.

De acuerdo a los antecedentes levantados por CMN SpA durante el proceso de evaluación ambiental, los sectores de veranadas utilizados por los crianceros de la cuenca del Río Tránsito, corresponden a los fondos de valle de los siguientes cursos hídricos: Río Laguna Grande y Río Cazadero, hacia el norte de la subcuenca del Río Tránsito; Río Chollay/ Río Estrecho, Río Blanco y Río El Toro, incluidas sus quebradas afluentes, todos ellos aledaños al punto de monitoreo NE-8; y, Quebrada de La Plata y Quebrada de Pinte, hacia el sector sur poniente de la cuenca del Río El Tránsito.

Debido a que la ganadería en alta cordillera corresponde a una actividad tradicionalmente desarrollada por los habitantes del Valle del Huasco en general, y de los Valles del Tránsito y del Carmen en particular, se ha propuesto descartar las emisiones difusas asociadas a la ganadería, por cuanto el foco de la presente caracterización preliminar, se encuentra en identificar una potencial presencia de metales pesados en las aguas del Río Estrecho, que pudiesen estar asociados a los

hechos constitutivos de infracción que son materia del procedimiento sancionatorio desarrollado por la SMA (causa rol A-002-2013), llegando a afectar la calidad de las aguas y por lo tanto, la salud de la población emplazada en sectores aledaños al punto de monitoreo NE-8.

**i) Influencia de Actividad Minera en la calidad de las aguas**

En base a los antecedentes contenidos en el “Atlas de Faenas Mineras de las Regiones de Antofagasta y Atacama”, elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), el año 2011, se ha procedido a identificar los factores antropogénicos que estarían incidiendo en la calidad de las aguas en la cabecera de la cuenca del Río Huasco, identificando la existencia de faenas mineras y la fase en la que se encuentran como Proyecto.

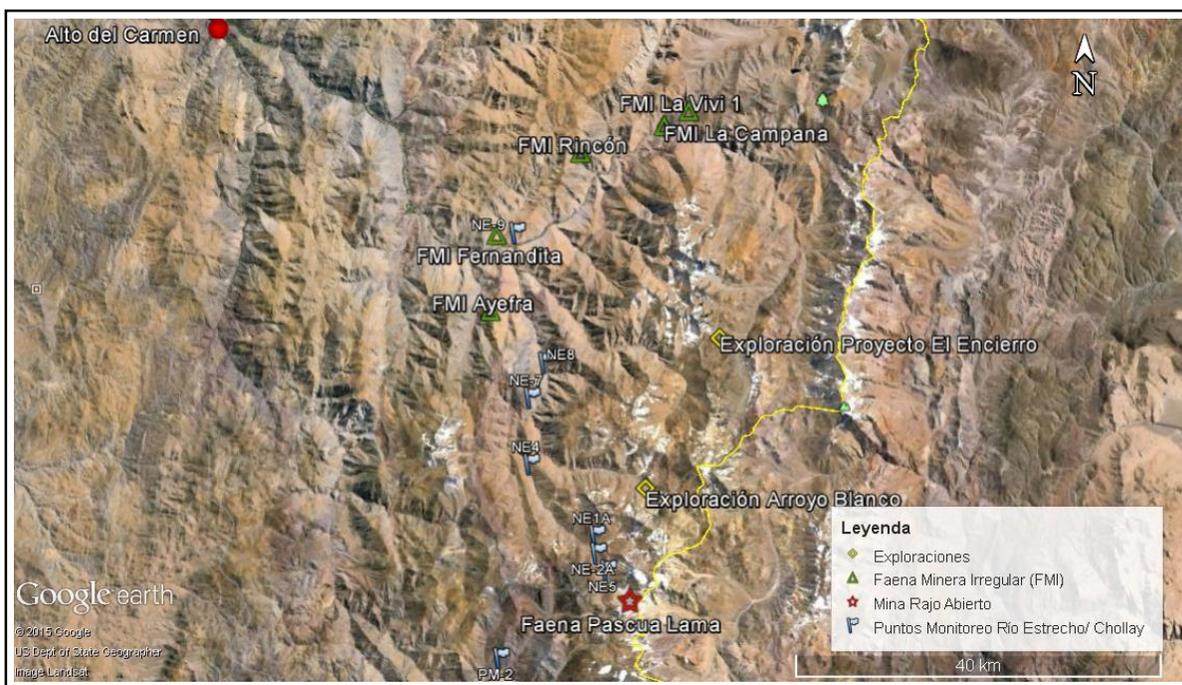
Considerando la distribución de faenas mineras en el territorio de la comuna de Alto del Carmen, es posible observar que al año 2011, en la parte oriental de dicha comuna se emplazan tres faenas mineras en situación activa, dos en la categoría de exploración y una en la categoría de mina a rajo abierto, esta última corresponde al Proyecto Minero Pascua Lama, emplazada aguas arriba del punto de monitoreo NE-8, en la cabecera de la sub-subcuenca del Río Estrecho. También se observa una serie de Faenas Mineras Irregulares (F.M.I.), que corresponden a la pequeña minería y que se encontrarían en proceso de regularización; y que para el caso del área estudiada se emplazan adyacentes al Río Valeriano; en la Quebrada de La Plata y antes de la confluencia de esta quebrada con el Río Chollay. La tabla N° 5, detalla las características de las faenas mineras identificadas en el área estudiada, la figura N° 6 presenta el emplazamiento de las faenas mineras identificadas, de acuerdo a coordenadas señaladas en el Atlas de Faenas Mineras del SERNAGEOMIN.

**Tabla 5:** Faenas Mineras aledañas a Sub-Subcuenca Río Estrecho/ Chollay.

Información Extraída de Atlas de Faenas Mineras de SERNAGEOMIN						OBSEVACIONES
Nombre Instalación	Nombre Empresa	Nombre Faena	Tipo de Instalación	Pasta Principal	Situación a 2011	
Mina Pascua Lama	Compañía Minera Nevada SpA	Pascua Lama	Mina Rajo Abierto	Oro	Activa	---
Arroyo Blanco	Compañía Minera Barrick Chile Ltda.	Barrick Chile Ltda. (Alto del Carmen)	Exploraciones	Oro	Activa	Revisado el Catastro de Concesiones Mineras del SERNAGEOMIN, la situación de la concesión es “Constituida”.
Proyecto El Encierro	Compañía Minera Barrick Chile Ltda.	Proyecto El Encierro	Exploraciones	Oro	Activa	Revisado el Catastro de Concesiones Mineras del SERNAGEOMIN, la situación de la concesión es “En trámite”.
FMI	FMI	Aiyefra II 1/10	FMI	FMI	FMI	---
FMI	FMI	Fernandita 1/5	FMI	FMI	FMI	---
FMI	FMI	Rincón 1/3	FMI	FMI	FMI	---
FMI	FMI	La Campana 1/3	FMI	FMI	FMI	---
FMI	FMI	La Vivi 1	FMI	FMI	FMI	---

Fuente: SERNAGEOMIN, 2011.

**Figura 6:** Emplazamiento Faenas Mineras aledañas a Sub-Subcuenca Río Estrecho/ Chollay.



Fuente: Elaboración propia en base a SERNAGEOMIN (2011).

De la imagen se extrae que, en base a la localización de las distintas faenas mineras en la sub sub-cuenca del Río Estrecho/ Chollay y, tomando en consideración el tipo de instalación de la que se trata, para efectos de esta caracterización preliminar del riesgo, se considera como única fuente potencial emisora de contaminantes a la faena Pascua Lama, la que se emplaza en el sector de cabecera de la sub sub-cuenca de interés, habiendo dado inicio a su etapa de construcción durante el mes de octubre de 2009.

### 3.3.1.2 Nivel sitio específico: Localidad de Chollay

Para la ejecución de la presente caracterización de riesgo para la salud humana, se han considerado las recomendaciones establecidas por la OPS (2005 a) en torno a la incorporación de información demográfica específica, la que debe obtenerse *“para los siguientes tipos de poblaciones: (1) población o comunidad más cercana gradiente abajo y gradiente arriba del sitio...”*. De este modo y luego de haber abordado el contexto comunal en el que se inserta el área de estudio, se hace necesario señalar que ésta ha sido definida, tanto en razón al criterio de distancia planteado por la OPS, como al efecto de dilución y aportes de sustancias químicas que generan los diferentes ríos que van añadiendo caudal al río Estrecho/Chollay y que por ende son sus tributarios.

De esta forma, las poblaciones humanas emplazadas en el área de estudio -correspondiente a la sub subcuenca del Río Estrecho/ Chollay-, comprenden a la localidad de Chollay, la que de acuerdo a los antecedentes levantados por el INE en el Censo de Población y Vivienda del año 2002, se encuentra conformada por las entidades pobladas de Chollay (caserío), Pachuy (caserío) y El Canuto (parcela – hijuela); y que de acuerdo a las recomendaciones de la OPS, corresponde a la localidad más cercana al Proyecto Minero Pascua Lama y al punto de monitoreo NE-8, para el cual se desarrollará la caracterización de riesgo. Otras localidades como Conay o Los Tambos, se emplazan en la

confluencia del Río Chollay con el Río Conay, por lo que el caudal aportado por el Río Conay, contribuiría a la dilución de las aguas del Río Chollay.

En las Tablas 6 y 7, se presentan algunos antecedentes censales de la localidad de Chollay. De acuerdo a los datos entregados por el INE, levantados mediante el Censo del año 2002, en la subcuenca del Río el Tránsito (incluyendo a su tributario Río Estrecho/ Chollay), más específicamente aguas arriba de la confluencia del Río Pachuy, con el Río Chollay, se encuentra la entidad poblada más cercana al Proyecto Pascua Lama, correspondiente a la parcela – hijuela “El Canuto”, que pertenece a la localidad de Chollay y que de acuerdo a los datos del Censo antes citado, posee una población de 6 personas (2 hombres y 4 mujeres), distribuidas en dos viviendas, para las cuales el origen del agua potable corresponde a la categoría río, vertiente o estero, asimismo, se informa que ninguna de las viviendas de dicha entidad poblada posee servicio higiénico. Emplazada en las cercanías del Río Pachuy, se ubica la entidad poblada del mismo nombre, que de acuerdo a la categorización del INE corresponde a un caserío y que forma parte de la localidad de Chollay. El caserío de Pachuy, de acuerdo al Censo del 2002, cuenta con una población de 34 personas distribuidas en 7 viviendas, para las cuales el origen del agua potable, en el año en que se realizó el censo correspondía a la categoría río, vertiente o estero. La entidad poblada de Chollay, correspondiente a un caserío y que a su vez da nombre a la localidad que engloba a las entidades pobladas de Chollay, Pachuy y El Canuto, se localiza aledaña al del río Chollay, respecto de su población, de acuerdo a los datos oficiales del Censo 2002, para dicho año poseía 162 habitantes distribuidos en 57 viviendas, en las que el origen del agua potable correspondía para ese entonces a la categoría río, vertiente o estero.

**Tabla 6:** Características generales de población y vivienda, para localidad potencialmente expuesta.

Localidad	Entidad	Categoría	Población			Pertenece a Pueblo Indígena	N° Total de Viviendas	N° de viviendas para las que se levantó información	Origen del agua domiciliar			Sistema de eliminación de excretas			
			Total	Hombres	Mujeres				Red Pública	Pozo o noria	Río, vertiente estero	Conectado a alcantarillado	Conectado a fosa séptica	Cajón sobre pozo negro	No tiene servicio higiénico
Chollay	Chollay	Caserío	162	93	69	15	57	50	1	1	48	5	0	27	18
Chollay	El Canuto	Parcela - Hijueta	6	2	4	0	2	2	0	0	2	0	0	0	2
Chollay	Pachuy	Caserío	34	21	13	0	7	7	0	0	7	0	0	5	2

Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2002 (INE)

**Tabla 7:** Composición etaria de la población en la localidad de Chollay.

Entidad	Categoría	Total	GRUPOS ETARIOS																
			0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80 y más
Chollay	Caserío	162	9	14	13	13	14	7	15	14	14	7	6	6	8	8	6	5	3
El Canuto	Parcela - Hijueta	6	0	1	1	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pachuy	Caserío	34	1	8	1	6	5	0	2	0	2	4	1	0	2	0	0	1	1

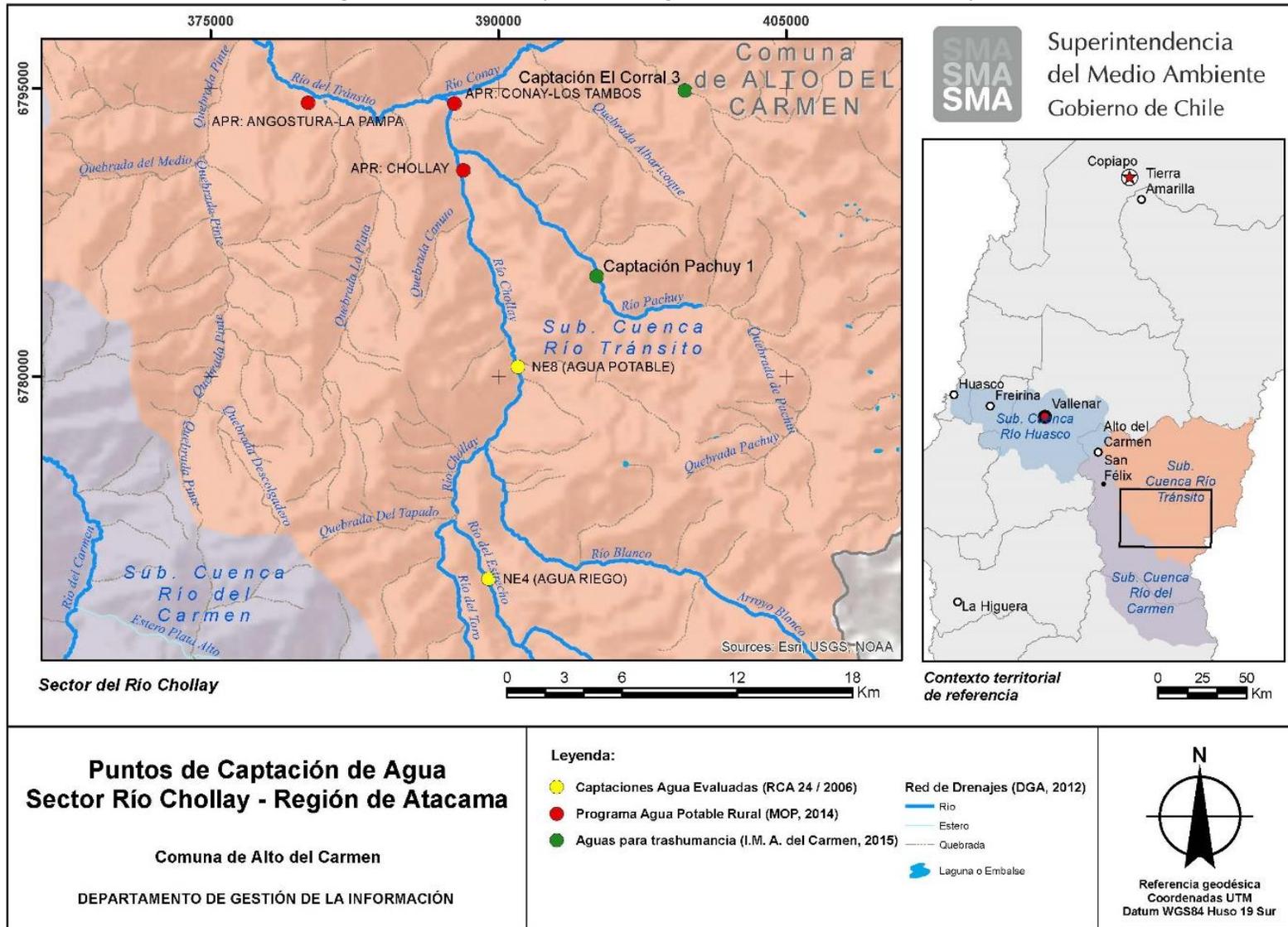
Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2002 (INE)

Respecto del acceso al agua para la bebida humana, y como ya se mencionó de acuerdo a la información del Censo de 2002, para la localidad de Chollay en general y para las entidades que la componen en particular, al año 2002 se accedía a agua potable a través de río, vertiente o estero, es decir a través de las fuentes de agua superficial. Por su parte, la empresa CMN SpA, durante la evaluación ambiental del proyecto "Modificaciones Proyecto Pascua Lama", desarrollada entre los años 2004 y 2006, informó que la captación de agua para la bebida humana más cercana a las instalaciones del Proyecto, se realizaba en el sector donde se ubica el punto de monitoreo NE-8, el que se ubica a aproximadamente a 13 km del punto central de la localidad de Chollay. De acuerdo a los antecedentes del MOP (2014), desde el año 2008 la localidad de Chollay cuenta con un Sistema de Agua Potable Rural, orientado a satisfacer la demanda de localidades rurales concentradas, es decir, aquellas localidades con una población superior a 150 habitantes y una densidad igual o superior a 15 viviendas por kilómetro de red (MOP, 2014, pág.2), abasteciéndose a una población de aproximadamente 223 personas. El Portal de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Bienes Nacionales indica que este sistema de agua potable se surte a partir de un pozo profundo. Al respecto, no se descarta que, habiendo sistema de agua potable rural, abastecido por pozo profundo, igualmente existan captaciones de agua de tipo superficiales, cuyo objetivo sea la de bebida de personas y animales en aquellas viviendas en las que no hay cobertura del APR Chollay.

Asimismo la Ilustre Municipalidad de Alto del Carmen, informó la localización de las captaciones de agua para la bebida humana y animal, así como para riego, utilizadas en los asentamientos semipermanentes asociados a las actividades de trashumancia en la parte alta de la comuna, las cuales se realizan directamente de cursos de agua superficial. La localización de las distintas fuentes de captación de aguas se presenta en la Figura N°7.

Finalmente y en relación a las actividades productivas desarrolladas en el área de estudio destaca en primer lugar la minería, representada por el proyecto Minero Pascua Lama en la parte alta de la sub subcuenca del Río Estrecho/Chollay. En los sectores poblados de manera permanente y que comienzan a encontrarse desde la entidad de El Canuto, aledaña al río Chollay, destaca el desarrollo de actividades de pequeña agricultura y ganadería. Adicionalmente se desarrollan -entre los meses de noviembre a abril aproximadamente- actividades de ganadería trashumante o veranadas, para aprovechar la presencia de pastos de buena calidad para el ganado en zonas de mayor altura geográfica.

**Figura 7: Puntos de Captación de aguas en el sector del Río Chollay.**



### 3.3.2 Monitoreo ambiental en punto NE-8

A partir de los requerimientos del Segundo Tribunal Ambiental y en base a la información disponible, es que se ha definido como única matriz ambiental de análisis al “Agua Superficial”, descartando para efectos de este informe a otras matrices ambientales, como aguas subterráneas o sedimentos.

Para determinar la concentración de sustancias químicas en dicha matriz, se ha empleado el punto de monitoreo NE-8, que de acuerdo a lo señalado por el titular del Proyecto, corresponde al primer punto de captación de agua potable, ubicado aguas abajo del área del Proyecto. El Punto de Monitoreo NE-8, se localiza en la sub subcuenca del Río Chollay, específicamente en el Río Chollay, aguas abajo de la confluencia de los Ríos Estrecho y Blanco y aproximadamente 15 km aguas arriba de la confluencia entre el Río Chollay y el Río Conay (ver Figura 8). A consecuencia de constituir el primer punto de captación de agua potable ubicado aguas abajo del área del Proyecto, la empresa se ha comprometido al monitoreo de los parámetros regulados por la NCh 409.

Los datos empleados para la realización de la evaluación de riesgos a la salud provienen de las siguientes fuentes:

1. Información proporcionada por el titular del Proyecto a través del Sistema de Seguimiento Ambiental (SSA) de la SMA, correspondiente a:
  - Informe del programa de monitoreo de aguas julio 2012 – junio 2013, Proyecto Pascua Lama (agosto de 2013). El que de acuerdo a sus contenidos, presenta resultados representativos de la etapa de depositación de estériles y posteriormente (desde noviembre 2012 a junio 2013), resultados representativos de la etapa de detención de la depositación de estériles (ID SSA 10692)
  - Informe del programa de monitoreo de aguas julio 2013 – junio 2014, Proyecto Pascua Lama (julio 2014). En el que presenta resultados representativos de la condición de detención de los trabajos de construcción del Proyecto (ID SSA 23999).
  - Informe del programa de monitoreo de aguas del Proyecto Pascua Lama julio 2014 – junio 2015 (julio 2015), en el que se entregan resultados representativos de la condición de la etapa de detención de los trabajos de construcción del Proyecto (ID SSA 37797).

De acuerdo a lo señalado en estos informes, se presentan los resultados de 37 puntos de monitoreo de aguas superficiales (exceptuando el informe de julio de 2015 en el que se informa que uno de los puntos de aguas superficiales “*se encuentra aterrado*”) en distintos cauces de la cuenca del Río Huasco, entre los que se encuentra el punto de monitoreo NE-8, señalándose además que se toman muestras de aguas con una frecuencia mensual para su posterior análisis físico químico en laboratorio.
2. Información de línea de base levantada por CMN SpA durante la evaluación ambiental, la que ha sido presentada en los apéndices 1 y 4 de la Adenda N°2, del EIA del Proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.
3. También se emplearon datos presentados por la empresa al Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Atacama, en el marco del proceso de revisión de la Resolución de Calificación Ambiental de acuerdo al artículo 25 quinquies de la Ley 19.300<sup>10</sup>. Estos datos abarcan una serie temporal que comprende -para NE-8- desde el año 1997 hasta el año 2012, período a partir del

---

<sup>10</sup> <http://www.sea.gob.cl/contenido/revision-de-la-rca-proyecto-modificaciones-proyecto-pascua-lama> (específicamente numeral 11).

cual se emplean los datos del Plan de Monitoreo de Calidad de Aguas, cargados por el titular del Proyecto al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA.

4. Finalmente, se emplearon datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas por la SMA con motivo del Oficio N° 01336 de fecha 16 de octubre de 2013, de la Corte de Apelaciones de Copiapó, asociado a la sentencia Rol 300-2012 que dictamina el deber de la SMA de implementar y ejecutar, semestralmente, actividades de fiscalización al Proyecto Pascua Lama de CMN SpA, en especial a las obras relacionadas con los recursos hídricos, en respuesta al Recurso de Protección interpuesto por comunidades indígenas de la cuenca del río Huasco en que se denunció una afectación a las aguas del Río Estrecho.

Cabe relevar que para los cálculos desarrollados empleando los valores de concentración aportados por las distintas fuentes de información empleadas, en los casos de haber datos bajo los límites de detección, se utilizó el mismo valor del límite. Esta práctica es la más conservadora pero tiende a sobreestimar las medias reales (MMA, 2014, pág. 117).

### 3.3.2.1 Selección de puntos de control adicionales

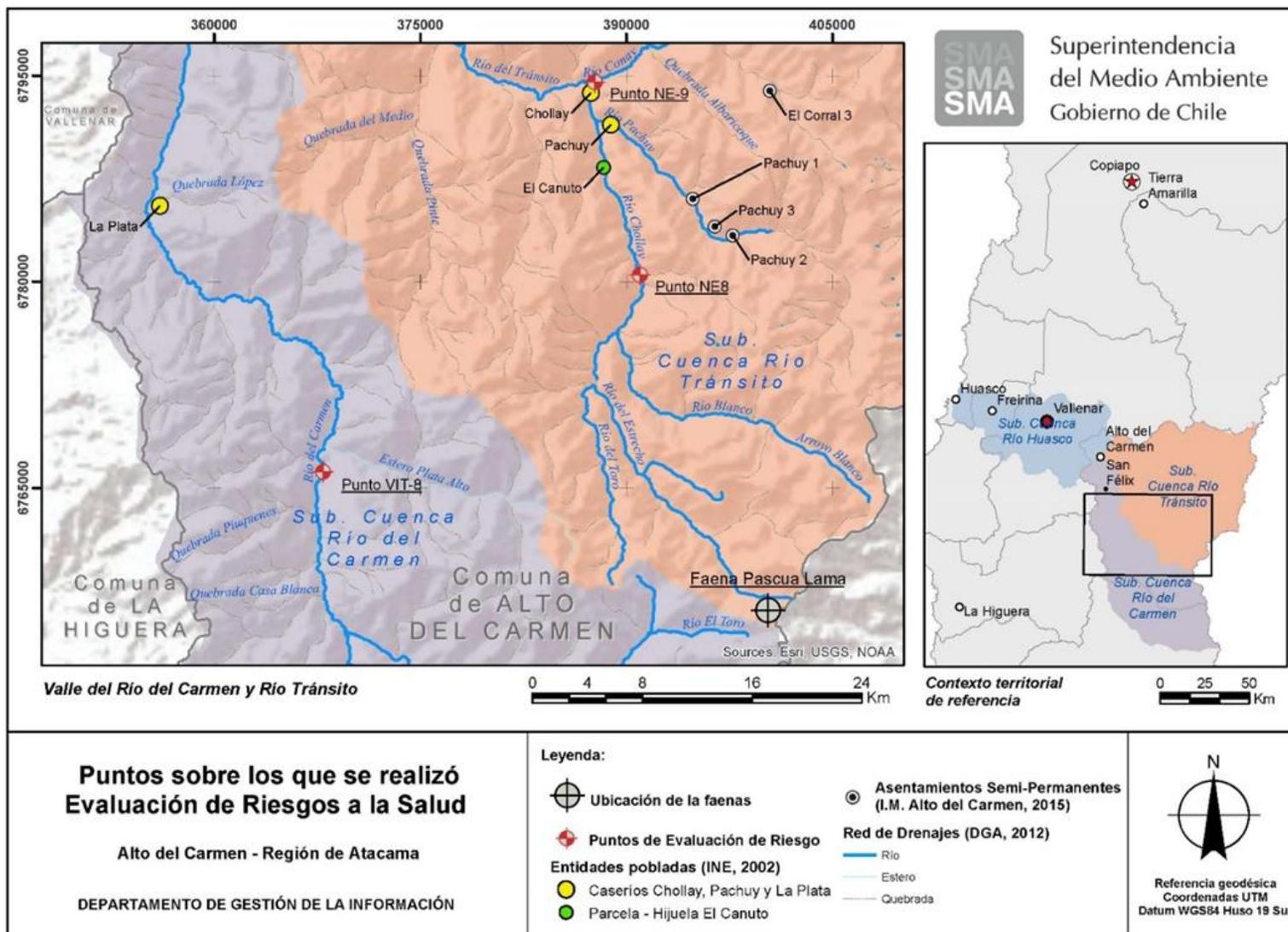
Si bien es cierto que el análisis de riesgos se ha centrado en el punto de monitoreo NE-8, el que será considerado como potencial punto de exposición para la población emplazada en la localidad de Chollay, se ha decidido incorporar el análisis de las concentraciones registradas en dos puntos de monitoreo adicionales, establecidos durante la evaluación ambiental del Proyecto *“Modificaciones Proyecto Pascua Lama”*. Lo anterior por cuanto las metodologías de evaluación de riesgos revisadas recomiendan la incorporación de puntos de control que permitan conocer las concentraciones basales o naturales de las sustancias químicas en sectores cercanos al punto de exposición identificado. Los puntos de control adicionales corresponden a:

- Punto de Monitoreo NE-9, localizado aguas abajo del punto de monitoreo NE-8, en el Río Chollay antes de confluir al Río Tránsito y aguas abajo de su confluencia con el río Pachuy. La selección de este punto de control se plantea con el objeto de ampliar el análisis sitio específico de NE-8, permitiendo evaluar la persistencia de riesgo en un punto ubicado aguas abajo de éste.
- Punto de Monitoreo VIT-8, emplazado en la sub cuenca del Río El Carmen, específicamente en el Río Carmen aguas arriba del Estero de La Plata. La selección de este punto de monitoreo se justifica ya que este punto se localiza en una posición similar a NE-8, en una cuenca distinta a la del río Estrecho/ Chollay, emplazada inmediatamente al sur de la cuenca de éste, lo que permitiría conocer la concentración basal o natural de las sustancias químicas en un curso hídrico localizado en un territorio que no ha sido afectado por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos, pero que sin embargo, se localiza en el territorio comunal y con características físicas similares al área de estudio.

Una vez realizado el análisis de riesgo sobre estos puntos de control, los resultados serán comparados con aquellos obtenidos de la evaluación de riesgos para NE-8.

La siguiente figura, muestra la localización de los puntos de monitoreo seleccionados para calcular el riesgo a la salud de la población. Se presenta el punto de monitoreo NE-8, considerado el punto de exposición potencial para la población de Chollay, además de los puntos de control adicionales seleccionados, es decir el punto de monitoreo NE-9, aguas abajo de NE-8, y el punto de monitoreo VIT-8, ubicado en la subcuenca del río El Carmen.

**Figura 8:** Puntos de Monitoreo considerados para la elaboración del análisis de riesgos.



### 3.3.3 Selección de Sustancias Químicas de Riesgo Potencial

En esta etapa del proceso, en primer lugar se ha procedido a comparar las concentraciones máximas de las sustancias químicas presentes en NE-8, con un valor de referencia.

Para la determinación de las sustancias químicas de riesgo potencial, se han empleado los datos de la serie de tiempo comprendida entre febrero de 2012 y enero de 2013, debido a que dicha serie de tiempo corresponde al periodo en el cual debió verificarse la activación del Plan de Alerta Temprana, por parte de la empresa CMN SpA.

En cuanto a los valores de referencia, se ha utilizado la Norma Chilena Oficial de Agua Potable -NCh N°409-, la cual establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable asegurando su inocuidad y aptitud para el consumo humano, incluyendo una serie de parámetros de importancia para salud. Adicionalmente y para aquellos parámetros que no se encuentran normados por la NCh N°409, se ha empleado como valor de referencia el umbral establecido para el set de 9 parámetros indicativos de acidificación o de Drenaje Ácido de Roca en base a lo expuesto por el Segundo Tribunal Ambiental, en el Considerando Nonagésimo primero de la sentencia de fecha 3 de marzo de 2014, causa Rol R-06-2013.

De esta forma, aquellas sustancias cuyas concentraciones máximas en el periodo febrero 2012 a enero 2013, excedieron los valores de referencia empleados, han sido identificadas como sustancias químicas de riesgo potencial para la salud humana.

**Tabla 8:** Parámetros cuyas máximas concentraciones exceden los valores de referencia en Punto de Monitoreo NE-8, durante el periodo febrero 2012 – enero 2013.

Parámetro	Valores de referencia (mg/l)	Concentración máxima encontrada en período (mg/l)	Concentración Media del periodo considerado UCL 95 (mg/l)
Arsénico	0.01*	0,158	0,0234
Aluminio	Invierno: 2.3**	29	7,2650
	Primavera: 3.1**		
	Verano: 5**		
	Otoño: 5**		
Cadmio	0.01*	0,011	0,0051
Hierro	0.3*	37	5,4966
Manganeso	0.1*	6,1	2,1352

(\*) NCh N° 409 (\*\*) Umbrales parámetros DAR

Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles para el periodo de verificación de activación de Plan de Alerta Temprana (Feb 2012 – Ene 2013).

Posteriormente se procedió a determinar la frecuencia de detección de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas, para así descartar de la evaluación cuantitativa a aquellas sustancias detectadas infrecuentemente y cuya magnitud de la excedencia no es una preocupación, para ello se ha empleado el “Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética” (UCL 95), es decir una concentración media calculada empleando el límite superior del promedio con un 95% de confianza. De este modo para identificar las sustancias químicas que en definitiva serán consideradas en el proceso de evaluación de riesgos a la salud se ha utilizado como criterio, excluir del listado presentado en la tabla N°8 a las sustancias identificadas, que tienen un UCL por debajo del valor de referencia señalado.

Al analizar las concentraciones máximas, cinco sustancias exceden los valores de referencia. Si se analizan las concentraciones medias calculadas en base al UCL 95, cuatro de las cinco sustancias

exceden los valores de referencia, excluyéndose así al cadmio del listado de sustancias químicas de riesgo potencial, por cuanto esta sustancia sólo presenta **una excedencia** durante el periodo analizado y cuya magnitud no representa una preocupación en términos de efectos crónicos a la salud.

***En resumen, para efectuar la evaluación de riesgos a la salud se han seleccionado como sustancias químicas de riesgo potencial a: Arsénico (As), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).***

### 3.4 Caracterización de la Exposición

El hecho de que una sustancia química llegue a representar un riesgo, en este caso a la salud de la población, depende de su toxicidad y del grado de exposición de la población de interés a dicha sustancia (Ize, Zuk y Rojas – Bracho, 2010, pág. 47), de este modo un receptor (una persona o un receptor ecológico) puede estar expuesto a una sustancia cuando entra en contacto con ella, ya sea a través de la inhalación, de la ingestión o a través de contacto con la piel (ATSDR, 2008).

El objetivo de la etapa de caracterización de la exposición consiste en estimar la dosis del contaminante que estaría ingresando al organismo del receptor, tomando en consideración el medio ambiental a través del cual la sustancia química se mueve (ruta de exposición) desde el lugar donde es emitida hasta que entra en contacto con el receptor y la manera en que la sustancia química ingresa al cuerpo del receptor (vía de exposición). Para el caso estudiado se ha considerado la dosis absorbida, la que ha sido calculada para todas las sustancias identificadas como Sustancias Químicas de Riesgo Potencial en el punto de exposición, correspondiente al punto de monitoreo NE-8, lo anterior, sin perjuicio de que se realizará el mismo cálculo de caracterización de la exposición en los puntos de control seleccionados.

En relación a la magnitud de la exposición, esta depende del tiempo de exposición. Ize, Zuk y Rojas – Bracho (2010, pág. 49) proponen la siguiente clasificación para la exposición de acuerdo a la magnitud del período de exposición:

- Exposiciones crónicas: que duran entre el 10% y el 100% del tiempo de vida.
- Exposiciones subcrónicas: de corta duración, menos del 10% del tiempo de vida.
- Exposiciones agudas: de un día o menos y que se presentan en un único evento.

Para la ejecución de la presente evaluación de riesgos a la salud de la población, se ha considerado un Escenario Residencial, conformado por todas aquellas viviendas permanentes de la localidad de Chollay, localidad más cercana al punto de exposición, es decir al punto de monitoreo NE-8, las cuales son habitadas tanto por adultos como por niños, asumiendo el supuesto que durante toda su vida han consumido agua para la bebida extraída desde el punto NE-8, emplazado en el río Chollay, punto que de acuerdo a lo informado por CMN SpA en la evaluación de impacto ambiental del Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*”, corresponde al punto de captación de agua potable más cercano a las instalaciones del Proyecto minero Pascua Lama.

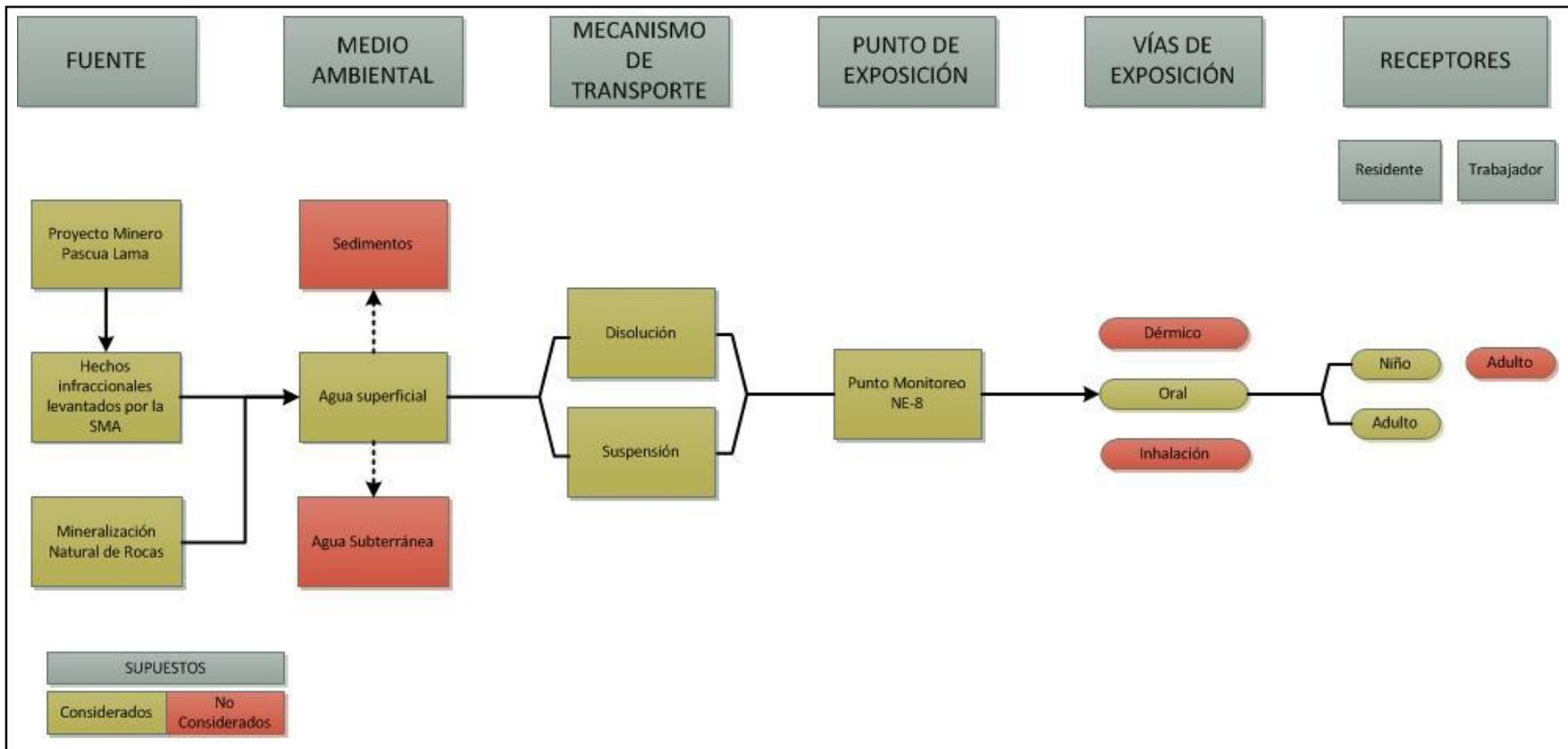
### 3.4.1 Caracterización de la exposición en el área de estudio: Planteamiento de un Modelo Conceptual

Se ha procedido a construir un modelo conceptual que sistematiza la información que se conoce sobre el sitio, con la finalidad de identificar la existencia de una ruta de exposición, es decir, el proceso por el cual una persona se ve expuesta a contaminantes originados en alguna fuente de contaminación (SEA, 2012, pág.39), identificándose la existencia de los siguientes elementos:

- La fuente de sustancias químicas potencialmente contaminantes, que para este caso correspondería a los hechos infraccionales determinados por la SMA y que en la práctica se manifestaron en la no activación del Plan de Alerta Temprana (PAT), comprometido en la RCA N°24/2006, por parte de la compañía CMN SpA. Cabe destacar que a través del presente modelo conceptual y de acuerdo al objetivo general planteado para el presente análisis, se busca confirmar o descartar si las infracciones asociadas a la no activación del PAT, generan aportes significativos de riesgo, considerando que los antecedentes levantados para la caracterización de la calidad de las aguas, arrojan que la cuenca del Huasco de manera natural, presenta altas concentraciones de metales.
- El medio ambiental por el cual se transportan las sustancias químicas relevantes desde la fuente hasta el punto de exposición, que para el presente modelo se ha acotado al medio “agua superficial”. En base a lo anterior, para el presente análisis se consideró a las aguas superficiales del Río Estrecho, que luego de su intersección con el Río Blanco pasa a denominarse Río Chollay.
- El punto de exposición, a través del cual la población entraría en contacto con los contaminantes y que para el modelo propuesto corresponde al punto de monitoreo NE-8, que como ya se ha mencionado, corresponde -de acuerdo a lo establecido en la evaluación ambiental- al punto de captación de agua para la bebida más cercano al Proyecto. Como supuesto, se ha establecido que la población extrae agua para la bebida directamente desde el punto de monitoreo NE-8, ello, con la finalidad de establecer un escenario lo suficientemente conservador, respecto de la calidad del agua. Cabe destacar que si no hay un contacto físico entre receptor y el contaminante, entonces la exposición y riesgo no pueden existir.
- La vía de exposición a través de la cual las sustancias químicas relevantes eventualmente se podrían incorporar al organismo de los habitantes de las poblaciones identificadas. Para el presente modelo conceptual, se ha considerado como vía de exposición a la ingestión por vía oral, en atención a la forma de consumo del agua identificada en el párrafo anterior.
- Población receptora, que corresponde a aquellos grupos humanos expuestos a las sustancias químicas relevantes. Para el caso estudiado, se ha considerado como *Escenario de Exposición*, a los receptores residentes más cercanos al punto de monitoreo NE-8 (habitantes de la localidad de Chollay), considerando a personas adultas y niños (as), quienes a lo largo de su vida han consumido agua para la bebida proveniente desde NE-8.

El modelo conceptual, que se presenta a continuación ha sido construido en base a la descripción del medio físico y de las poblaciones del sitio estudiado y constituye la hipótesis de trabajo sobre la que se van a desarrollar las siguientes etapas de esta evaluación del riesgo a la salud, permitiendo identificar la existencia de una ruta de exposición potencialmente completa. Los elementos del modelo presentados en color rojo, no han sido considerados en el análisis.

**Figura 9:** Modelo conceptual de fuente – ruta – exposición asociado al Río Estrecho/ Chollay.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 3.4.2 Valores empleados para calcular la Dosis de Exposición

En base al modelo de exposición planteado, se establece la existencia de una potencial ruta de exposición completa entre las sustancias químicas de riesgo potencial seleccionadas y los receptores de interés; y una vez identificados los escenarios de exposición relevantes, se puede estimar las dosis de contaminantes suministradas. Para el caso del presente estudio, se han asignado valores a los parámetros de los modelos matemáticos (ecuaciones) basados en estadísticas internacionales, utilizadas en evaluación de riesgos a la salud.

Para estimar la dosis administrada de cada sustancia química presente en la sub-componente ambiental evaluada -que para este caso corresponde a "aguas superficiales", más específicamente en el punto de exposición-, que puede ser absorbida al interior del organismo, se utiliza la denominada "Dosis de Exposición", que se expresa como la cantidad de sustancia (mg) en contacto con el organismo del individuo receptor, por unidad de masa corporal (kg), por unidad de tiempo (día). Para la estimación de la Dosis de Exposición, se ha decidido emplear la fórmula propuesta por la OPS (2005 a), en su "Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados"<sup>11</sup> y que se presenta a continuación:

$$Dosis\ agua \left( \frac{mg}{kg * día} \right) = \frac{[ ] * TI * FE}{PC}$$

Donde:

- [ ]= Concentración de sustancia química en el agua (mg/L).
- TI= Tasa de ingestión diaria de agua. Representa la cantidad de medio contaminado (para este caso corresponde a agua) ingerido por día (L/día).
- FE= Factor de exposición, adimensional, que incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/o temporalidad. Para el caso estudiado y considerando que los receptores son residentes que consumen agua diariamente y en base a la aplicación del principio precautorio, se ha reemplazado el FE por un valor 1, de acuerdo a lo recomendado por la OMS (2005a).
- PC= Peso corporal, corresponde a la masa que se considera para cada receptor que es evaluado (kg).

En relación a la Tasa de Ingestión para el agua y al Peso Corporal, los valores utilizados corresponden a aquellos recomendados por la OPS en su "Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados" (2005a) y se detallan a continuación:

**Tabla 9:** Parámetros para la estimación de la exposición.

Valores de Exposición	Escenario Residencial		Unidad
	Niño	Adulto	
Tasa ingesta de agua	1	2	Litro/día
Peso Corporal	14	70	kilógramos
Factor de Exposición	1	1	Sin unidad

Fuente: Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. OPS, 2005 a.

<sup>11</sup> <http://www.bvsde.paho.org/tutorial3/e/bienvenida.html>

### 3.4.2.1 Cálculo de la Dosis de Exposición

Como ya se ha mencionado, para el presente estudio se ha considerado como *Escenario de Exposición*, a los receptores residentes más cercanos al punto de monitoreo NE-8 (es decir, los habitantes de la localidad de Chollay), considerando a personas adultas y niños (as), quienes a lo largo de su vida han consumido agua para la bebida proveniente desde NE-8, correspondiente a la captación de agua para bebida más cercana al proyecto Pascua Lama, de acuerdo a los antecedentes contenidos en la evaluación ambiental del Proyecto.

El cálculo de la dosis de exposición, específicamente en lo referido a la concentración de las sustancias químicas en el agua en NE-8, se ha desarrollado en base a los valores resultantes de los monitoreos de calidad de agua superficial entre 1997 y 2015. Este periodo de tiempo ha sido dividido en cuatro (4) sub-series temporales, de acuerdo a hitos temporales asociados al Proyecto, ello con la finalidad de realizar comparaciones entre sub series temporales, que permitan realizar una caracterización más detallada de las dosis de exposición, en especial, para el periodo de ocurrencia de las infracciones imputadas a CMN SpA:

1. *Serie Pre Proyecto*, que corresponde a la serie de datos previos a la instalación del Proyecto (desde año 1997 hasta septiembre de 2009).
2. *Serie Pre Infracción*, serie que comprende desde la fecha en que el titular declara haber dado inicio a la etapa de construcción del Proyecto (octubre de 2009), hasta enero de 2012.
3. *Serie de No Activación del Plan de Alerta Temprana (PAT)*, periodo que abarca 12 meses móviles previos a los hechos que originan la autodenuncia ante la SMA por parte de CMN SpA y que comprende desde febrero de 2012 a enero de 2013.
4. *Serie Post Infracción*, periodo comprendido desde el mes siguiente a la autodenuncia de CMN SpA, hasta junio de 2015 y que abarca la paralización del Proyecto dictado por la Corte de Apelaciones y la implementación de obras asociadas a las medidas urgentes y transitorias dictadas por la SMA.

Tomando en consideración el escenario de exposición planteado para el presente estudio, se han priorizado los efectos crónicos que podrían ser provocados por la exposición a sustancias químicas de riesgo potencial, para ello se ha procedido a estimar la dosis de exposición empleando las concentraciones medias de las sustancias químicas seleccionadas en agua superficial para cada una de las sub-series de tiempo identificadas, ello debido a que se evaluarán los efectos de una exposición crónica en un escenario representativo de la situación “típica” registrada en cada una de las sub series de tiempo consideradas para el presente análisis.

La tabla 10 presenta las concentraciones empleadas (calculadas en base al UCL 95) para el cálculo de la dosis de exposición por cada sub-serie de tiempo definida.

Posteriormente en la tabla 11, se muestran los resultados de las dosis de exposición obtenidas para cada sustancia química de riesgo potencial, tabuladas para cada sub-serie de tiempo considerada. Por tanto, las personas que consumen agua para la bebida directamente desde NE-8, están expuestas a las dosis estimadas y descritas en la tabla 11, a lo largo de su vida (exposición crónica).

**Tabla 10:** Concentraciones (mg/l) empleadas para el cálculo de dosis de exposición en NE-8, para cada una de las sub-series de tiempo analizadas, en base a información de línea de base y de seguimiento ambiental.

Sustancia Química	Valor Referencia	Serie Pre Proyecto (1997 a sept.2009)	Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012)	Serie No Activación PAT (feb.2012 a ene.2013)	Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015)
		UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Hierro	0,3	0,883	3,862	5,497	0,967
Manganeso	0,1	0,838	2,232	2,135	1,293
Aluminio	Inv: 2,3 Pri: 3,1 Ver: 5 Oto: 5	4,692	8,868	7,265	3,649
Arsénico	0,01	0,003	0,018	0,023	0,004

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental de NE-8, 2015.

**Tabla 11:** Resultados Dosis de Exposición (mg/ [kg\*día]) en NE-8 para cada sustancia química de riesgo potencial, por sub-serie de tiempo considerada. Para escenario residentes (niños y adultos).

Sustancia Química	Serie Pre Proyecto (1997 a sept.2009)		Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012)		Serie No Activación PAT (feb.2012 a ene.2013)		Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015)	
	UCL 95		UCL 95		UCL 95		UCL 95	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Hierro	0,0631	0,0252	0,2758	0,1103	0,3926	0,1570	0,0690	0,0276
Manganeso	0,0599	0,0240	0,1594	0,0638	0,1525	0,0610	0,0923	0,0369
Aluminio	0,3351	0,1340	0,6334	0,2534	0,5189	0,2076	0,2607	0,1043
Arsénico	0,0002	0,0001	0,0013	0,0005	0,0017	0,0007	0,0003	0,0001

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental de NE-8, 2015.

### 3.5 Caracterización de la Toxicidad

En esta etapa de la evaluación de riesgos, también conocida como caracterización de la dosis respuesta, se describe la toxicidad de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas en el área estudiada, en base a las características de la exposición presentadas en el apartado anterior. Los criterios de toxicidad corresponden a expresiones narrativas o numéricas, basadas en la salud humana y que describen las propiedades tóxicas potenciales de una sustancia química.

#### 3.5.1 Caracterización cualitativa de la toxicidad

Para la evaluación de la toxicidad de las sustancias químicas de interés seleccionadas para el presente estudio, vale decir Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Aluminio (Al) y Arsénico (As), se desarrollará una caracterización cualitativa de éstas en cuanto a sus propiedades toxicológicas para los receptores.

### 3.5.1.1 Fuentes de información

- Las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, que definen que el agua de consumo inocua (agua potable) no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda la vida (OMS, 2006. Pág. 11). La OMS ha calculado valores de referencia<sup>12</sup> para muchos componentes químicos del agua de consumo. Estas Guías han sido consideradas por el INN para elaborar la Norma Chilena de Agua Potable NCh N°409, además presentan “Hojas de información sobre sustancias químicas” para Aluminio, Arsénico, Hierro y Manganeseo.
- El Portal de Sustancias Tóxicas de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (agencia federal, cuyas siglas en inglés son ATSDR), disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/>. A través del documento “Declaración de Salud Pública”, que es parte de una serie de resúmenes de salud pública sobre sustancias peligrosas y sus efectos sobre la salud, presenta una síntesis del Perfil Toxicológico del Aluminio y del Manganeseo.
- El Sistema de Información Integral de Riesgos (IRIS, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S.EPA por sus siglas en inglés), disponible en <http://www.epa.gov/iris/>. En este sistema se presenta un listado de sustancias en orden alfabético, en dicho listado no figura el Aluminio ni el Hierro, sí se ha empleado la información disponible para Arsénico y Manganeseo.

### 3.5.1.2 Perfiles toxicológicos de las sustancias químicas de riesgo potencial

A continuación se presenta una descripción de los posibles efectos a la salud de las personas debido a una exposición de las sustancias químicas identificadas:

#### **a) Hierro:**

El Hierro es un elemento esencial y uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, pudiendo encontrarse en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/l. También puede haber Hierro en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de Hierro o a la corrosión de tuberías que distribuyen el agua. Es un elemento que participa en los procesos de respiración de casi todos los organismos aeróbicos, y también está involucrado en la formación de radicales que pueden dañar células y tejidos. La exposición a un exceso de Hierro puede llevar a numerosas consecuencias patológicas, y una deficiencia severa puede tener serias consecuencias en la salud (CENMA - MMA, 2013).

Un informe preparado por CENMA para el MMA (2013), señala que una sobrecarga aguda de Hierro, como resultado de una sobredosis intencional o no intencional, es potencialmente una amenaza a la vida. Una sobreexposición crónica lleva lentamente a un daño (hasta letal) a órganos tales como el hígado, corazón y células pancreáticas beta (desarrollo de diabetes).

Finalmente el informe de CENMA – MMA (2013), indica que la dosis de referencia crónica provisional<sup>13</sup> para el Hierro por la vía oral fue estimada en 0,7 mg/kg\*día. No hay evidencia apropiada para la derivación de una dosis de referencia por inhalación de Hierro. Respecto de su clasificación cancerígena, no hay evidencia de que el Hierro tenga propiedades cancerígenas.

---

<sup>12</sup> Un valor de referencia representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida (OMS, 2006. Pág. 15).

<sup>13</sup> Los valores de referencia pueden ser definitivos o provisionales en función de los conocimientos científicos sobre el tóxico en cuestión (<http://www.ugr.es/~ajerez/proyecto/t2-19.htm>).

Por otra parte y con respecto a los antecedentes para la determinación del valor de referencia de las Normas Internacionales de la OMS para el agua Potable (1958, 1963 y 1971) sugirieron que concentraciones de Hierro superiores a 1,0 mg/l afectarían notablemente la potabilidad del agua. La OMS (2006), señala que en las Guías para la calidad del agua potable de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el Hierro en el agua de consumo, pero se mencionó que puede calcularse un valor de unos 2 mg/l a partir de la máxima ingesta diaria tolerable provisional (MIDTP) establecida por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) en 1983 para prevenir la acumulación excesiva de Hierro en el organismo.

**b) Manganeseo:**

El Manganeseo es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, y su presencia suele estar asociada a la del Hierro, puede encontrarse en bajos niveles en aguas superficiales y subterráneas, agua potable, aire y suelo. Se utiliza en la fabricación de aleaciones de Hierro y acero y como ingrediente de distintos productos, es un oligoelemento y es necesario para la salud.

Las concentraciones en el agua dulce varían habitualmente entre 1 y 200 µg/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 10 mg/l en aguas subterráneas ácidas y niveles aún más altos en aguas aerobias, habitualmente asociados a contaminación industrial.

La principal forma de exposición al Manganeseo ocurre a través del consumo de alimentos o de suplementos alimenticios que lo contengan. Trabajos como soldadura o fábricas de acero, pueden aumentar las posibilidades de exposición al Manganeseo.

La carencia o la sobreexposición al Manganeseo pueden causar efectos adversos. Se sabe que el Manganeseo produce efectos neurológicos tras la exposición por inhalación, especialmente de tipo laboral, y hay estudios epidemiológicos que han notificado efectos neurológicos adversos tras la exposición prolongada a concentraciones muy altas en el agua de consumo. Sin embargo, estos estudios señalan que existen otros factores que inciden significativamente en la ocurrencia de los efectos adversos, y a su vez existen otros estudios que indican que no se presentan efectos adversos tras la exposición de manganeseo debido al consumo de agua. Los datos de estudios en animales, especialmente los de roedores, no son convenientes para la evaluación de riesgos en las personas debido a que las necesidades orgánicas de Manganeseo varían entre las especies (OMS, 2006).

Respecto de su clasificación cancerígena, CENMA – MMA (2013), señala que no hay información disponible acerca del Manganeseo y cáncer en seres humanos. La exposición a altos niveles de Manganeseo en los alimentos produjo un pequeño aumento en la tasa de tumores del páncreas en ratas machos y de tumores de la tiroides en ratones machos y hembras. La USEPA ha determinado que el Manganeseo no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

Con relación a la determinación del valor de referencia, la OMS (2006) señala que en las Guías para la calidad del agua potable de 1993 se concluye que el conjunto de las pruebas de estudios de la ingesta diaria real y de toxicidad en animales de laboratorio a los que se suministró Manganeseo en el agua de bebida, un valor de referencia provisional basado en efectos sobre la salud de 0,5 mg/l debería ser adecuado para proteger la salud pública. También se señaló que los consumidores suelen considerar aceptable el agua con concentraciones inferiores a 0,1 mg/l, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales.

### **c) Arsénico**

El Arsénico es un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, la principal fuente de Arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales de origen natural. La OMS (2006), señala que las concentraciones en aguas naturales son generalmente de 1 a 2 µg/l, aunque pueden ser mayores (hasta 12 mg/l) en zonas con presencia de fuentes naturales de Arsénico. La vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y bebidas.

En las Guías de la OMS de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el Arsénico en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/l, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano. La OMS (2006), señala que en muchos países, este valor de referencia puede no ser alcanzable, siendo necesario poner el máximo empeño en mantener las concentraciones en los niveles más bajos que sea posible.

Respecto de la toxicidad del Arsénico, la OMS (2006) indica que el consumo de cantidades altas de Arsénico en el agua potable está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y los pulmones.

La EPA ha determinado que el Arsénico inorgánico es reconocido como sustancia carcinogénica en seres humanos (ATSDR, 2007).

### **d) Aluminio:**

El Aluminio corresponde al metal más abundante en la corteza terrestre. La principal vía de exposición al Aluminio es a través de la ingestión de alimentos, los alimentos no procesados (frutas, verduras y carnes) contienen muy poco Aluminio; los compuestos de Aluminio se añaden a través del procesamiento de los alimentos. La concentración de Aluminio en aguas naturales, generalmente es inferior a 0,1 mg/l (ATSDR, 2008). La contribución del agua de consumo a la exposición total por vía oral al Aluminio, suele ser inferior al 5% de la ingesta total (OMS, 2006). Otras formas de exposición ocurren en ambientes de trabajo industriales, habitando áreas en donde se extrae o procesa Aluminio metálico; o donde los niveles de Aluminio son naturalmente altos; o bien utilizando productos con altos contenidos de Aluminio (algunos cosméticos, aspirinas recubiertas, antiácidos y algunas vacunas).

La OMS (2006), señala que hay escasos indicios de que la ingestión de Aluminio por vía oral produzca toxicidad aguda en el ser humano. Estudios realizados respecto a la exposición oral al Aluminio y examinados por la ATSDR (2008), sugieren que algunas personas con enfermedades al riñón almacenan gran cantidad de Aluminio en sus cuerpos y en ocasiones desarrollan enfermedades de los huesos o del cerebro que pueden deberse al exceso de Aluminio. También se ha sugerido que personas expuestas a altos niveles de Aluminio pueden desarrollar la enfermedad de Alzheimer, sin embargo existen importantes reservas respecto de la inferencia de una relación causal, no pudiéndose calcular con precisión a un riesgo poblacional, sin embargo estas predicciones imprecisas pueden ser útiles para adoptar decisiones relativas a la necesidad de controlar la exposición al Aluminio de la población general (OMS, 2006).

Respecto de la posibilidad de que el Aluminio produzca cáncer, la EPA no ha evaluado la carcinogenicidad del Aluminio en seres humanos. No se ha demostrado que el Aluminio cause cáncer en animales (ATSDR, 2008).

Por otro lado cabe destacar que en algunas de las muestras consideradas para el análisis temporal desarrollado en este informe, consistente en la subdivisión de un periodo de tiempo de aproximadamente 20 años, en cuatro (4) sub-series temporales, de acuerdo a los hitos asociados a la construcción del proyecto, se detectaron concentraciones de pH y turbidez, por encima de la Norma de Agua Potable NCh N°409. Ambos parámetros no han sido incluidos en esta evaluación de

riesgos a la salud por cuanto no se han desarrollado valores de referencia para éstos. No obstante tanto la turbidez como el pH, corresponden a parámetros operativos importantes de calidad de las aguas. Así, “la turbidez tiene una gran importancia sanitaria, pues refleja la aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser un indicio de contaminación” (Espigares García y Fernández Crehuet, en L. Marcó, et al, 2004). Altos valores de turbidez o valores de pH fuera de la norma, no son deseables por su capacidad de cambiar las características organolépticas del agua, particularmente por una adulteración del sabor y para el caso de la turbidez, del color.

Pese a que ambos parámetros no han sido incluidos en la estimación cuantitativa de riesgos a la salud de la población, se ha optado por incluir información de carácter cualitativa sobre los mismos, la que se detalla a continuación:

**Turbidez:** De acuerdo a lo señalado por la OMS (2006), no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 UNT para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de los procesos asociados a la potabilización del agua, debido a su rápida y confiable forma de medición.

**pH:** Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que un pH inferior a 6,5 o superior a 9,2 afectaría notablemente a la potabilidad del agua. En la primera edición de las Guías para la Calidad del Agua Potable, publicada en 1984, se estableció como valor de referencia para el pH un intervalo de 6,5 a 8,5, basado en consideraciones relativas a las características organolépticas del agua. Se señaló que el intervalo aceptable de pH podría ser más amplio en ausencia de un sistema de distribución. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6,5 a 9,5.

### 3.5.2 Caracterización cuantitativa de la toxicidad

Para desarrollar la evaluación de riesgos a la salud de la población, ha sido necesario identificar los criterios de toxicidad para cada una de las sustancias químicas de riesgo potencial.

Por una parte, para la evaluación del riesgo a la salud asociado a la exposición a sustancias no cancerígenas (o compuestos tóxicos con umbral), se identifica una dosis a partir de la cual comienzan a desarrollarse efectos sobre la salud, dicha dosis recibe el nombre de *Dosis de Referencia* (DRf), lo que implica que la exposición a este tipo de sustancias químicas en dosis inferiores a la dosis de referencia, no debiese presentar un riesgo para la gran mayoría de los individuos. Por otra parte, para desarrollar la evaluación de riesgos a la salud humana por exposición a sustancias cancerígenas (o compuestos tóxicos sin umbral), se ha considerado que para este tipo de sustancias no existe un grado seguro de exposición, pudiendo causar efectos incluso a dosis muy bajas. En el caso de dosis bajas, el potencial cancerígeno está caracterizado por la pendiente de la curva dosis-respuesta, utilizándose para desarrollar los cálculos de riesgo el *Factor de Pendiente Cancerígeno* (FPCo).

Algunas sustancias químicas pueden ocasionar tanto efectos no cancerígenos (con umbral) como efectos cancerígenos (sin umbral). La práctica usual para este tipo de compuestos es enfocarse en

los efectos sin umbral, ya que así el proceso de evaluación del riesgo se aborda de una manera más conservadora, para garantizar la protección de la salud humana de los efectos que se pueden presentar a las dosis más bajas (I. Lema, M. Zuk y L. Rojas-Bracho, 2010, pág. 71).

Las dosis de referencia, para las sustancias químicas no cancerígenas y el factor de pendiente cancerígenos, para aquellas sustancias identificadas como cancerígenas, han sido obtenidos desde la base de datos IRIS de la U.S. EPA, así como desde el Sistema de Información de Evaluación de Riesgos<sup>14</sup> (RAIS, por sus siglas en Inglés), estos valores a su vez, se presentan sistematizados en las tablas del Regional Screening Level (RSL)<sup>15</sup>. Para la estimación desarrollada en este informe y considerando que la vía de exposición analizada a partir de la definición de un modelo conceptual, ha sido la ingesta de agua por vía oral, se han utilizado las tablas del RSL que contienen las dosis de referencia para agua potable. La tabla 12, presenta los valores de toxicidad de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas para la elaboración de la presente evaluación de riesgos a la salud humana.

**Tabla 12:** Criterios de toxicidad para las sustancias químicas identificadas.

Compuesto Químico	Efectos No Cancerígenos	Efectos Cancerígenos	Clasificación Evidencia de cáncer
	DRf <sub>o</sub> (mg/[kg*día])	FPC <sub>o</sub> (mg/[kg*día])	
Aluminio	1,0E+00	-	-
Hierro	7,0E-01	-	D
Manganeso	2,40E-02	-	D
Arsénico	3,0E-04	1,50E+00	A

Fuente: USEPA, RSL. Revisión junio 2015.

### 3.6 Caracterización de riesgos para la población

En esta etapa de la metodología de evaluación de riesgos, se ha procedido a integrar los resultados obtenidos en las etapas anteriores, lo que permitiría estimar la existencia de riesgos a la salud humana asociados a las sustancias químicas de riesgo potencial seleccionadas que se encuentran presentes en el punto de exposición y que potencialmente podrían ser ingeridas por los receptores a través de la vía oral.

De las sustancias químicas de riesgo potencial seleccionadas para la presente evaluación de riesgos a la salud humana, el aluminio, el hierro y el manganeso no son consideradas cancerígenas, es decir, a partir de una dosis o umbral comienzan a desarrollarse efectos a la salud (dosis de referencia). Para el Arsénico en cambio, existe evidencia de efectos cancerígenos, por lo que para realizar la evaluación de riesgos, se aplicará el valor del Factor de Pendiente de Cáncer (FPC).

Para desarrollar la caracterización del riesgo no cancerígeno se efectúa el cálculo del Coeficiente de Peligrosidad (HQ por las siglas en inglés de Hazard Quotient). Para caracterizar el riesgo cancerígeno se realiza el cálculo de Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (RECV). A continuación se explica el cálculo de Coeficiente de Peligrosidad y RECV para sustancias no cancerígenas y cancerígenas, respectivamente.

<sup>14</sup> [http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX\\_search?select=chem](http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX_search?select=chem)

<sup>15</sup> [http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration\\_table/Generic\\_Tables/docs/restap\\_sl\\_table\\_run\\_JUNE2015\\_rev.pdf](http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/Generic_Tables/docs/restap_sl_table_run_JUNE2015_rev.pdf)

### 3.6.1 Estimación de riesgos no cancerígenos

Como se mencionó más arriba, la caracterización de riesgos no cancerígenos se desarrolla a través del cálculo del Coeficiente de Peligrosidad (HQ). Este coeficiente permite determinar si la dosis de referencia, es excedida por la dosis de exposición calculada para el contaminante. El uso de este índice se basa en el supuesto de que existe un nivel seguro de exposición por debajo del cual no es probable que se produzcan efectos adversos a la salud (MMA, 2014, pág. 190). De este modo, el HQ se calcula para cada sustancia química de riesgo no cancerígeno, de la siguiente manera:

$$HQ = \frac{\text{Dosis de exposición} \left[ \frac{mg}{(kg * día)} \right]}{\text{Dosis de Referencia} \left[ \frac{mg}{(kg * día)} \right]}$$

Valores de cociente de peligrosidad (HQ) >1 se considerarán no aceptables ya que probablemente causen efectos adversos a la salud.

Una vez obtenido el HQ para cada sustancia química de riesgo potencial no cancerígena y para cada una de las sub-series de tiempo consideradas en el presente informe, se procede a sumar los **Coeficientes de Peligro** obtenidos para los diferentes sustancias dentro de la vía de exposición oral, para así obtener un **Índice de Peligro Total** (IPT) en cada una de las sub-series de tiempo planteadas:

$$\text{Índice de Peligro Total}_{\text{Vía Oral}} = HQ_{\text{Contaminante1}} + HQ_{\text{Contaminante2}} \dots + \text{etc.}$$

De este modo, el Índice de Peligro Total, para la vía oral, es una estimación del Coeficiente de Peligrosidad en las personas expuestas por un tiempo prolongado a una cierta concentración de contaminantes específicos, en el punto de exposición, de acuerdo al escenario de exposición definido en el presente informe.

Con respecto a la interpretación de los resultados obtenidos, cabe destacar que los valores obtenidos para el HQ y para el IPT corresponden a valores de un margen de seguridad, que ve reflejado en la magnitud del HQ o del IPT. De esta forma un HQ=1 indica que la dosis de exposición asociada a la concentración de un contaminante, es igual a la dosis de referencia. Un  $HQ \leq 1$  representa una exposición menor al valor o dosis de referencia, indicando que la sustancia probablemente no causará efectos adversos a la salud humana. En contrapunto, un valor de  $HQ \geq 1$ , representa una exposición por encima del valor de referencia y un efecto potencialmente adverso a la salud (Autoridad Regional Ambiental de Arequipa, 2014, pág. 39), sin embargo esta interpretación no necesariamente significa que, como resultado de la exposición, los efectos adversos van a ocurrir (CENMA – MMA, 2013), por lo que valores de HQ o del IPT mayores a uno permiten determinar la existencia de potenciales riesgos para los receptores considerados en el escenario planteado.

A continuación, la Tabla 13, muestra los resultados de los Coeficientes de Peligrosidad, calculados para cada sub-serie de tiempo descrita en el presente informe de acuerdo al Escenario de Exposición establecido, es decir residentes (niños y adultos), que durante toda su vida consumen agua desde el punto de exposición, los valores de HQ se han calculado considerando como concentración de exposición al valor medio (UCL 95) de la concentración de las sustancias químicas de riesgo potencial presentes en NE-8, para cada una de las sub-series de tiempo establecidas.

Adicionalmente se presenta el Índice de Peligro Total (IPT), representado como la sumatoria de los Coeficientes de Peligrosidad para cada sustancia de riesgo potencial, por serie de tiempo y por tipo de residente (niño y adulto). El IPT representa los riesgos no cancerígenos acumulados de todos los contaminantes evaluados. De esta forma se obtiene el riesgo total para la vía de ingestión oral, para cada una de las sub-series de tiempo consideradas en el presente análisis.

Las celdas en color rojo, presentan valores de HQ o de IPT que exceden la unidad.

**Tabla 13:** Resultados Coeficiente de Peligrosidad (HQ) e Índice de Peligro Total (IPT), calculados en base al **valor medio (UCL 95) de la concentración** de las sustancias químicas de riesgo potencial presentes en NE-8.

Sustancia Química no cancerígena	HQ		HQ		HQ		HQ	
	Serie Pre Proyecto		Serie Pre Infracción		Serie No Activación PAT		Serie Post Infracción	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Hierro	0,0901	0,0360	0,3940	0,1576	0,5609	0,2244	0,0986	0,0395
Manganeso	2,4951	0,9980	6,6418	2,6567	6,3549	2,5420	3,8474	1,5390
Aluminio	0,3351	0,1340	0,6334	0,2534	0,5189	0,2076	0,2607	0,1043
<b>IPT</b>	<b>2,9203</b>	<b>1,1681</b>	<b>7,6692</b>	<b>3,0677</b>	<b>7,4347</b>	<b>2,9739</b>	<b>4,2067</b>	<b>1,6827</b>

Las Celdas en color rojo, resaltan aquellos valores de HQ o de IPT que exceden la unidad.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Considerando que la sumatoria de los coeficientes de peligrosidad (HQ) para obtener el índice de peligro total (IPT) tanto para niños como para adultos por cada una de las sub-series de tiempo empleadas para el presente análisis, podría inducir a un efecto de sobreestimación -por cuanto se efectúa una suma algebraica de todos los coeficientes de peligrosidad, sean estos mayores o menores a uno-, se ha decidido presentar en la Tabla 14, el porcentaje del aporte del HQ de cada una de las sustancias químicas de riesgo potencial al IPT resultante:

**Tabla 14:** Aportes en porcentaje de cada sustancia química al índice de Peligro Total, tabulada para concentraciones promedio, por sub-serie de tiempo en NE-8.

Sustancia Química	Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie No Activación PAT	Serie Post Infracción
	UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Hierro	3,08%	5,14%	7,54%	2,34%
Manganeso	85,44%	86,60%	85,48%	91,46%
Aluminio	11,48%	8,26%	6,98%	6,20%
<b>IPT</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A partir de la observación de los resultados de la tabla 14, es posible señalar que para las cuatro sub-series de tiempo consideradas en el presente análisis, el Manganeso es la sustancia química de riesgo potencial que genera más aportes en términos cuantitativos a Índice de Peligro Total, aportando entre el 85% y el 91% del total del IPT obtenido.

### 3.6.1.1 Sistematización resultados de los Índices de Peligro en NE-8

Los resultados de la caracterización de riesgos, en base al cálculo del coeficiente de peligrosidad para sustancias químicas con efectos no cancerígenos, asociados al consumo de agua para la bebida, extraída desde NE-8, se presentan en la tabla 15, para cada una de las sub-series de tiempo y a su vez, para cada uno de los receptores potenciales en un escenario residencial.

**Tabla 15:** Sistematización de resultados obtenidos para los Índices de Peligro Total en punto de exposición NE-8.

Sub-serie temporal	Receptor	Concentración empleada	Efectos Crónicos
Serie Pre Proyecto	Niño	Concentración Media	IPT estimado = 2,92, valor que excede la unidad. Respecto de este escenario, cabe destacar que la única sustancia química, cuyo Coeficiente de Peligrosidad supera a la unidad, corresponde al Manganeso, aportando un 85,44% al resultado final obtenido como IPT.
	Adulto	Concentración Media	IPT estimado = 1,16 valor que excede la unidad. En este escenario ninguna sustancia química por sí sola, supera el Coeficiente de Peligrosidad, sin embargo al sumar los coeficientes de peligro, tal como recomienda la metodología de riesgos, se produce un efecto de sobreestimación algebraica, que se materializa en un IPT que supera la unidad.
Serie Pre Infracción	Niño	Concentración Media	IPT estimado = 7,66 valor que excede la unidad. En este escenario, la única sustancia cuyo HQ excede a la unidad, corresponden a Manganeso, que representa un 86,60% del IPT.
	Adulto	Concentración Media	IPT estimado = 3,06 valor que excede la unidad. En este escenario, la única sustancia química cuyo HQ excede a la unidad corresponde al Manganeso, que aporta un 86,60% al índice de peligro total.
Serie No Activación PAT	Niño	Concentración Media	IPT estimado = 7,43 valor que excede la unidad. La única sustancia química cuyo coeficiente de peligro excede a la unidad, y que por tanto genera mayores aportes al IPT corresponde al Manganeso (85,48%).
	Adulto	Concentración Media	IPT estimado = 2,97 valor que excede la unidad. En este escenario, la única sustancia química cuyo coeficiente de peligro excede la unidad, corresponde al Manganeso que representa un 85,48% del valor obtenido como IPT.
Serie Post Infracción	Niño	Concentración Media	IPT estimado = 4,20 valor que excede la unidad. En este escenario, la única sustancia química cuyo coeficiente de peligro excede la unidad, corresponde al Manganeso que representa un 91,46% del valor obtenido como IPT.
	Adulto	Concentración Media	IPT estimado = 1,68 valor que excede la unidad. En este escenario la única sustancia química cuyo coeficiente de peligro supera la unidad, corresponde al Manganeso, que aporta un 91,46% del valor obtenido como IPT.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En base a la sistematización de los resultados del Índice de Peligro Total, obtenidos para cada una de las sub-series de tiempo consideradas, es posible desprender que en todas las sub-series de tiempo analizadas, tanto para adultos como para niños, el IPT excede a la unidad. Sin embargo al analizar los Coeficientes de Peligrosidad de cada una de las sustancias químicas no cancerígenas, es posible establecer que el manganeso corresponde a la única sustancia, cuyas concentraciones medias, en cada sub serie considerada, genera riesgo por sí sola con un aporte que fluctúa entre el 85 y el 91% al IPT resultante. Los máximos Índices de Peligro Total se registran en la sub serie

temporal “Pre Infracción”, seguida por la sub serie de “No Activación de PAT”, luego la sub serie “Post Infracción” y por último la sub serie “Pre Proyecto”.

En efecto, de acuerdo a los resultados de los cálculos de riesgos para sustancias no cancerígenas en NE-8, en los cuales los IPT determinados tanto para niños como para adultos, en las cuatro sub series temporales consideradas han superado el valor 1, representando por tanto una exposición global que puede implicar un efecto potencialmente adverso a la salud, ha sido posible visualizar la existencia de una condición de riesgo en las cuatro sub series de tiempo identificadas, incluyendo la sub serie de tiempo “Pre Proyecto”, que corresponde el periodo previo al inicio de las obras de construcción del Proyecto Minero Pascua Lama.

Al realizar un análisis comparativo entre sub-series temporales, se obtiene que los valores de IPT más bajos, tanto para niños como para adultos se obtuvieron en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, sin embargo, para esta serie, la existencia de valores de riesgo (representados por el IPT) sobre la unidad, sugiere la presencia de riesgos basales o naturales, pre existentes a la llegada del proyecto a la sub subcuena del río Chollay.

Luego al comparar la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “Pre Infracción”, se tiene que el IPT de esta última es 2,62 veces el valor del IPT basal (“Pre Proyecto”) para niños y para adultos.

En tanto que si se compara la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “No Activación de los PAT”, se tiene que el valor de IPT de esta última es 2,54 veces el valor de IPT considerado como basal para niños y para adultos.

Por último al comparar la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “Post Infracción”, se observa que el valor de IPT de ésta última es 1,4 veces el valor de IPT basal para niños y para adultos.

### 3.6.2 Estimación de riesgos cancerígenos

El potencial cancerígeno de una sustancia química, se asocia a la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer en algún momento de su vida por exposición a dicha sustancia a una dosis de exposición dada. Como ya se ha mencionado, en el caso de dosis bajas, el potencial cancerígeno está caracterizado por la pendiente de la curva dosis-respuesta (Lema, Zuk y Rojas-Bracho, 2010) a partir de la cual se obtienen los valores del Factor de Pendiente de Cáncer (FPC), el cual cuantifica la probabilidad de desarrollar cáncer como resultado de la exposición a una sustancia química determinada.

El Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (RECV) es el límite superior de la probabilidad de que una persona contraiga cáncer (ya sea tratable o letal) durante su vida entera, entre todas las personas expuestas de por vida a una concentración media de la sustancia química que presenta riesgo potencial y por encima de la probabilidad basal normal de contraer cáncer. El riesgo extra se atribuye a una causa específica. Se denomina riesgo “extra” de cáncer porque es un riesgo asociado al problema de contaminación analizado y por lo tanto es “extra” o “adicional” al riesgo normal de fondo de cáncer que tiene cada persona (CENMA – MMA, 2013).

Para el cálculo del riesgo extra de cáncer durante el tiempo de vida, por exposición al Arsénico, se sigue el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se estima la dosis de exposición por Arsénico en agua **para una población adulta** durante toda su vida (para efectos crónicos, la OPS recomienda considerar 70 años de vida<sup>16</sup>), utilizando las concentraciones medias o representativas de una exposición de tipo crónica, es decir, una exposición durante todo el tiempo de vida de una persona (empleándose los valores medios a través del UCL 95), encontradas en el punto de exposición NE-8, obteniéndose un valor en mg/[kg\*día] (ver tabla 11).
2. Posteriormente dicha dosis de exposición se multiplica por el Factor de Pendiente Cancerígena (FPC) del Arsénico, obteniéndose de este modo el **riesgo individual** por la exposición Arsénico durante todo el tiempo de vida:

$$\text{Riesgo Individual} = \text{Dosis de exposición As en agua} * \text{FPC}_{As}$$

Donde:

**Dosis de exposición As en agua** = Calculada en base a ecuación presentada en apartado 3.4.2 (para adultos).

**FPC<sub>As</sub>** = 1,50E+00(mg/ [kg\*día])<sup>17</sup>

Una vez realizados los cálculos en base a la dosis de exposición y el factor de pendiente cancerígeno para arsénico, se obtienen los siguientes resultados por cada sub serie temporal:

**Tabla 17:** Riesgo individual extra de cáncer por exposición a concentraciones de Arsénico en NE-8.

Riesgo Individual de Cáncer			
Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie No Activación de PAT	Serie Post Infracción
1,18E-04	7,57E-04	1,00E-03	1,56E-04

Los números en color rojo muestran aquellos valores de riesgo individual que exceden los valores aceptables, de acuerdo a las recomendaciones de la U.S. EPA

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Respecto de la interpretación del Riesgo Individual Extra de Cáncer, según la U.S. EPA (U.S EPA, 2011 b), se considera un riesgo aceptable, al rango que va entre un caso de cáncer adicional (por encima del nivel de fondo) en una población de un millón de individuos (1 x 10<sup>-6</sup>) expuestos a los niveles encontrados de la sustancias cancerígena hasta 1 caso adicional de cáncer en una población de diez mil de individuos expuestos (1 x 10<sup>-4</sup>). Valores de riesgo superiores a 1 caso por 10.000 individuos, serán considerados como no aceptables, en base a las directivas de la U.S. EPA.

3. Finalmente, el riesgo individual -cuyos resultados se presentaron en la tabla 17-, es multiplicado por el total de la población presente en el sitio específico analizado, que en este caso corresponde a la localidad de Chollay en su conjunto, para así conocer la incidencia de cáncer, obteniéndose de este modo el **riesgo poblacional de cáncer**. Tomando en consideración que la

<sup>16</sup> <http://www.bvsde.paho.org/tutorial3/e/capitulo3/index.html>

<sup>17</sup> [http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX\\_search](http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX_search)

población de la localidad de Chollay asciende a 202 personas, es posible estimar el riesgo poblacional de contraer cáncer por el tiempo de vida –para dicha población-, el que se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18:** Riesgo poblacional de cáncer por exposición a concentraciones de Arsénico en NE-8

Riesgo Poblacional de Cáncer			
Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie No Activación de PAT	Serie Post Infracción
0,0238	0,1530	0,2027	0,0314

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Respecto de la interpretación de los datos obtenidos de riesgo poblacional, los valores representan un escenario hipotético y corresponden al número de casos de individuos con el cáncer específico que aparecería en dicha población en el supuesto de que todos sus miembros estuvieran permanentemente expuestos (de por vida) a la concentración de la sustancia cancerígena encontrada en el sitio específico (OPS, 2005 b). Para el caso del sitio específico analizado en ninguna de las sub-seris temporales consideradas se alcanza un caso de cáncer por exposición al arsénico.

### 3.6.2.1 Sistematización resultados de Estimación del Riesgo Extra de Cáncer durante el tiempo de vida en NE-8

Los resultados de la caracterización de riesgos, en base a la estimación del riesgo extra de contraer cáncer durante el tiempo de vida, calculados para sustancias químicas cancerígenas, en este caso el Arsénico, asociado al consumo de agua para la bebida, extraída directamente desde NE-8, se presentan para cada una de las sub-seris de tiempo consideradas para el presente análisis de riesgos:

**Tabla 19:** Sistematización resultados de Estimación del Riesgo Extra de Cáncer durante el tiempo de vida en NE-8

Sub serie temporal	Riesgo individual	Riesgo poblacional
<b>Serie Pre Proyecto</b>	El riesgo individual de cáncer por la exposición a Arsénico para la sub serie temporal pre-Proyecto, en personas que consumen agua para la bebida directamente desde el Río Chollay en el Punto NE-8, es de 1,18 casos 10.000	Para la localidad de Chollay, que para el Censo de 2002, contaba con 202 habitantes, se registraría menos de 1 caso de cáncer atribuibles a las concentraciones de Arsénico en el agua identificadas durante esta sub serie temporal.
<b>Serie Pre Infracción</b>	El riesgo individual de cáncer por la exposición a Arsénico para la serie temporal pre-infracción, en personas que consumen agua para la bebida directamente desde el Río Chollay en el Punto NE-8, es aproximadamente 8 casos 10.000	Para la localidad de Chollay, que para el Censo de 2002, contaba con 202 habitantes, se registraría menos de 1 caso de cáncer atribuibles a las concentraciones de Arsénico en el agua identificadas durante esta sub serie temporal.
<b>Serie No Activación PAT</b>	El riesgo individual de cáncer por la exposición a Arsénico para la sub serie temporal No Activación PAT, en personas que consumen agua para la bebida directamente desde el Río Chollay en el Punto NE-8, es de 1 caso en 1.000.	Para la localidad de Chollay, que para el Censo de 2002, contaba con 202 habitantes, se registraría menos de 1 caso de cáncer atribuibles a las concentraciones de Arsénico en el agua identificadas durante esta sub serie temporal.

Sub serie temporal	Riesgo individual	Riesgo poblacional
<b>Serie Post Infracción</b>	El riesgo individual de cáncer por la exposición a Arsénico para la sub serie temporal Post Infracción, en personas que consumen agua para la bebida directamente desde el Río Chollay en el Punto NE-8, es aproximadamente 1,56 casos en 10.000	Para la localidad de Chollay, que para el Censo de 2002, contaba con 202 habitantes, se registraría menos de 1 caso de cáncer atribuibles a las concentraciones de Arsénico en el agua identificadas durante esta sub serie temporal.

*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

En base a los resultados obtenidos a partir de la estimación del riesgo cancerígeno asociado a la exposición crónica a Arsénico en la localidad de Chollay, derivado del consumo de agua para la bebida humana extraída directamente desde el punto de exposición definido en el modelo conceptual, es decir desde el punto de monitoreo NE-8, ha sido posible establecer que si bien es cierto los valores de riesgo poblacional no alcanzan a constituir un caso en ninguna de las sub series temporales analizadas –debido a que la población de Chollay es reducida, alcanzando los 202 habitantes de acuerdo al Censo de 2002- los resultados del riesgo individual de cáncer observados en las cuatro sub series de tiempo consideradas superan el nivel de riesgo considerado aceptable por la U.S. EPA, siendo la sub serie de No Activación del Plan de Alerta Temprana (PAT), la que registró el valor de riesgo más alto, alcanzando un caso de cáncer en 1.000 personas.

Al comparar los valores de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, asumiendo que esta sub-serie representa una condición basal de concentraciones de arsénico en el territorio, con las sub-series temporales posteriores, se tiene que:

- El valor de riesgo individual de cáncer registrado durante la sub-serie temporal “Pre Infracción”, es 6,4 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido durante la sub-serie temporal “Pre Proyecto”.
- El valor de riesgo individual de cáncer obtenido durante la sub-serie “No activación de los PAT” es 8,4 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”.
- En la sub-serie temporal “Post Infracción” el valor de riesgo individual de cáncer es 1,3 veces el valor obtenido en la sub-serie “Pre Proyecto”.

### 3.6.3 Caracterización del Riesgo para puntos de control considerados.

Tomando en cuenta que el presente análisis de riesgos planteó la necesidad de incluir Puntos de Control Adicionales, se ha estimado el riesgo cancerígeno (Arsénico) y no cancerígeno (Hierro, Aluminio y Manganeso) de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas en el punto de monitoreo NE-8, en los siguientes puntos de control adicionales:

- Punto de Monitoreo NE-9, localizado aguas abajo del punto de monitoreo NE-8, en el río Chollay aguas abajo de la confluencia con el Río Pachuy. La realización de un análisis de riesgos en este punto permitiría ampliar la comprensión del comportamiento de las concentraciones de las sustancias químicas de riesgo potencial seleccionadas, identificando si aguas abajo de NE-8 persisten las condiciones de riesgo evaluadas.
- Punto de Monitoreo VIT-8, localizado en la subcuenca del río El Carmen, adyacente a la sub subcuenca del Río Estrecho/ Chollay y seleccionado por su ubicación similar, en términos físicos y de existencia de afluentes a lo largo de su cauce, a la del punto NE-8. La realización de una evaluación de riesgos en este sector, permitirá realizar comparaciones entre los resultados de riesgos obtenidos en NE-8 versus los resultados obtenidos para una cuenca con características

físicas similares, pero que no se ha visto afectada por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos. Cabe destacar que para el caso de VIT-8, no se identificaron receptores cercanos.

De este modo las distintas etapas de la evaluación del riesgo, han sido aplicadas para la estimación del riesgo en los dos puntos de control antes mencionados, en base a los datos de monitoreo disponibles y correspondientes –al igual que para el punto de monitoreo NE-8- a información aportada por el titular a través de:

- La evaluación Ambiental, específicamente los apéndices 1 y 4 de la Adenda 2 del EIA del Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*”.
- Informes de Monitoreo de aguas superficiales, cargados por el titular del Proyecto a través del sistema de seguimiento ambiental.
- Información aportada por el titular en el marco de la revisión de la Resolución de Calificación Ambiental N°24/2006, de acuerdo al artículo 25 quinquies de la ley 19.300.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la metodología de evaluación de riesgo a la salud de las personas –empleada en el punto de monitoreo NE-8-, para los puntos de control NE-9 y VIT-8.

### 3.6.3.1 Evaluación de riesgos en Punto de Monitoreo NE-9

#### **a) Cálculo de la dosis de exposición**

La dosis de exposición ha sido calculada en base a la fórmula propuesta en el apartado 3.4.2 del presente informe, considerando:

- La utilización de las mismas sustancias químicas de riesgo potencial identificadas en el punto de monitoreo NE-8.
- Los datos de monitoreo de aguas superficiales en el punto NE-9 disponibles para el período comprendido entre octubre de 1993 a junio de 2015, obtenidos desde la evaluación ambiental del Proyecto “*Modificaciones Proyecto Pascua Lama*”, el sistema de seguimiento ambiental, el proceso de revisión de RCA y datos levantados por la SMA.
- Los parámetros para la estimación de la dosis de exposición señalados en la Tabla N°9.
- La serie de tiempo total para la que se obtuvieron datos ha sido separada en 4 sub-series de tiempo, acorde a aquellas utilizadas para calcular los valores de riesgo en el punto de monitoreo NE-8.
- Se ha calculado la exposición para un escenario residencial, tanto para niños como para adultos.
- La estimación de la dosis de exposición se ha desarrollado tanto para las concentraciones medias registradas en dicho punto en cada sub serie temporal, las que han sido calculadas a través del UCL 95.

La Tabla 20 presenta las concentraciones empleadas para el cálculo de la dosis de exposición por cada sub-serie de tiempo. La Tabla 21, presenta los resultados de las dosis de exposición obtenidos para cada sustancia de riesgo potencial por serie de tiempo analizada.

**Tabla 20:** Concentraciones (mg/l) empleadas para el cálculo de dosis de exposición en NE-9, para cada una de las sub-series de tiempo analizadas.

Sustancia Química	Valor Referencia	Serie Pre Proyecto (1993 a sept.2009)	Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012)	Serie No Activación PAT (feb.2012 a ene.2013)	Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015)
		UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Hierro	0,3	1,851	4,882	7,134	1,105
Manganeso	0,1	0,562	1,855	1,412	0,658
Aluminio	Inv: 2,3 Pri: 3,1 Ver: 5 Oto: 5	3,619	9,195	7,530	2,145
Arsénico	0,01	0,0119	0,0189	0,0362	0,0028

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental, 2015.

**Tabla 21:** Resultados Dosis de Exposición (mg/ [kg\*día]) en NE-9 para cada sustancia química de riesgo potencial, por sub-serie de tiempo considerada. Para escenario residentes (niños y adultos).

Sustancia Química	Serie Pre Proyecto (1997 a sept.2009)		Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012)		Serie No Activación PAT (feb.2012 a ene.2013)		Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015)	
	UCL 95		UCL 95		UCL 95		UCL 95	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Hierro	1,32E-01	5,29E-02	3,49E-01	1,39E-01	5,10E-01	2,04E-01	7,90E-02	3,16E-02
Manganeso	4,01E-02	1,61E-02	1,33E-01	5,30E-02	1,01E-01	4,04E-02	4,70E-02	1,88E-02
Aluminio	2,59E-01	1,03E-01	6,57E-01	2,63E-01	5,38E-01	2,15E-01	1,53E-01	6,13E-02
Arsénico	8,53E-04	3,41E-04	1,35E-03	5,39E-04	2,59E-03	1,03E-03	1,98E-04	7,91E-05

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental.

#### b) Caracterización del riesgo no cancerígeno: Estimación del Coeficiente de Peligrosidad

Como ya se mencionó para el punto de monitoreo NE-8, en base a la estimación de la Dosis de Exposición para la concentración media (UCL 95) en NE-9; y a la Dosis de Referencia Oral para cada una de las sustancias químicas de riesgo potencial (ver apartado 3.5.2), es posible obtener el denominado Coeficiente de Peligrosidad (HQ), que permite determinar si la dosis de referencia, es excedida por la dosis de exposición oral del contaminante. Posteriormente se procedió a efectuar la sumatoria de los HQ obtenidos para las diferentes sustancias dentro de la vía de exposición oral, para así obtener un Índice de Peligro Total (IPT) para cada una de las sub-series de tiempo consideradas.

La tabla 22 presenta los resultados del HQ y del IPT, estimados para las concentraciones medias identificadas en cada sub serie temporal para las sustancias químicas de riesgo potencial no cancerígeno identificadas en NE-9.

Las celdas en color rojo, presentan valores de HQ o de IPT que exceden la unidad.

**Tabla 22:** Resultados Coeficiente de Peligrosidad (HQ) e Índice de Peligro Total (IPT), calculados en base al **valor medio (UCL 95) de la concentración** de las sustancias químicas de riesgo potencial presentes en NE-9.

Sustancia Química no cancerígena	HQ		HQ		HQ		HQ	
	Serie Pre Proyecto		Serie Pre Infracción		Serie No Activación PAT		Serie Post Infracción	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Hierro	0,189	0,076	0,498	0,199	0,728	0,291	0,113	0,045
Manganeso	1,673	0,669	5,522	2,209	4,204	1,681	1,959	0,784
Aluminio	0,259	0,103	0,657	0,263	0,538	0,215	0,153	0,061
<b>IPT</b>	<b>2,120</b>	<b>0,848</b>	<b>6,677</b>	<b>2,671</b>	<b>5,470</b>	<b>2,188</b>	<b>2,225</b>	<b>0,890</b>

Las Celdas en color rojo, resaltan aquellos valores de HQ o de IPT que exceden la unidad.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Finalmente, la tabla 23, presenta los aportes en porcentajes de cada sustancia de riesgo potencial al Índice de Peligro Total.

**Tabla 23:** Aportes en porcentaje de cada sustancia química al índice de Peligro Total en NE-9, para concentraciones medias registradas por sub-serie de tiempo.

Sustancia Química	Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie Post Infracción	Serie Actualización F1
	UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Hierro	8,91%	7,46%	13,31%	5,07%
Manganeso	78,90%	82,70%	76,86%	88,04%
Aluminio	12,19%	9,84%	9,83%	6,89%
IPT	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A partir de los resultados de la estimación de riesgos no cancerígenos desarrollada en NE-9, es posible desprender que al igual que en NE-8, el Manganeso corresponde a la sustancia química de riesgo potencial que genera mayores aportes a los resultados obtenidos para el IPT.

Analizando los resultados obtenidos para cada una de las sub-series temporales consideradas, se desprende que:

- i. En la sub-serie temporal “Pre Proyecto” el IPT obtenido para niños supera la unidad alcanzando un valor de 2,1. Para adultos en cambio, el IPT alcanza un valor de 0,8 es decir, no se supera la unidad, no existiendo riesgos de tipo no cancerígenos en este escenario (adultos);
- ii. En la sub-serie “Pre Infracción” el IPT obtenido para niños alcanza un valor de 6,6; para adultos el IPT obtenido alcanza el valor 2,6 superándose en ambos casos la unidad;
- iii. En la sub-serie “No Activación de los PAT”, el valor de IPT para niños alcanzó un valor de 5,4; mientras que para adultos alcanzó un valor de 2,1; dichos valores en ambos casos superan la unidad;
- iv. Por último en la sub-serie “Post Infracción” se obtiene un IPT de 2,2 para niños. Para adultos, el IPT alcanza un valor de 0,8 que no excede la unidad.

Al realizar un análisis comparativo entre sub-series temporales en el punto NE-9, se obtiene:

- i. Si se compara la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “Pre Infracción”, se tiene que el valor de IPT de esta última es 3,1 veces el valor de IPT basal (registrado en “Pre Proyecto”) para niños y para adultos.

- ii. Si se compara la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “No Activación de los PAT”, se tiene que el valor del IPT de esta última es 2,5 veces el valor de IPT considerado como basal tanto para niños como para adultos.
- iii. Finalmente, al comparar la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, con la sub-serie “Post Infracción”, se observa que el IPT de esta última es 1,04 veces el IPT de la sub-serie "Pre Proyecto".

Los resultados de HQ e IPT, calculados utilizando concentraciones medias, presentan la misma tendencia de los resultados obtenidos para el Punto NE-8, es decir, los mayores IPT se registran en la sub serie Pre Infracción, seguida por la sub serie de No Activación del PAT, luego la sub serie Post Infracción y por último la sub serie Pre Proyecto. Revisando los resultados para adultos, las sub-series “Pre proyecto” y “Post infracción” no presentan riesgos de tipo no cancerígenos en dicho escenario.

**c) Caracterización del riesgo cancerígeno: Estimación del Riesgo Extra de Cáncer durante el tiempo de vida**

Como ya se indicó, el Arsénico corresponde a una sustancia química cancerígena. Se ha estimado el riesgo extra de contraer cáncer durante el tiempo de vida, de acuerdo al procedimiento propuesto en el apartado 3.6.2, obteniéndose el riesgo individual de contraer cáncer por la exposición al Arsénico presente en el agua superficial en el punto NE-9. En base a estos resultados ha sido posible calcular el riesgo poblacional de contraer cáncer, utilizando el número de habitantes en la localidad de Chollay, que al igual que para NE-8, corresponde a la localidad más cercana al punto de monitoreo NE-9. Cabe destacar que la distancia entre la localidad de Chollay (caserío) y el Punto NE-8 es de 13,5 km aproximadamente, asimismo la distancia entre dicha localidad y el punto de monitoreo NE-9 alcanza aproximadamente 0,85 km.

La tabla 24 presenta las estimaciones del riesgo individual y poblacional de contraer cáncer por exposición a Arsénico en NE-9.

**Tabla 24:** Estimaciones del riesgo individual y poblacional de contraer cáncer por exposición a Arsénico en NE-9.

Riesgo Individual de Cáncer				Riesgo Poblacional de Cáncer			
Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie No Activación PAT	Serie Post Infracción	Serie Pre Proyecto	Serie Pre Infracción	Serie No Activación PAT	Serie Post Infracción
5,12E-04	8,09E-04	1,55E-03	1,19E-04	0,1034	0,1633	0,3134	0,0240

*Los números en color rojo muestran aquellos valores de riesgo individual que exceden los valores de riesgo aceptables de acuerdo a las recomendaciones de la U.S. EPA*

*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

Respecto de la existencia de riesgos de cáncer, en base a las concentraciones de Arsénico registradas en el punto de control NE-9, el comportamiento de los valores obtenidos de riesgo individual de cáncer son similares a aquellos registrados en NE-8, en el sentido de que las cuatro sub-series temporales analizadas superan niveles de riesgo aceptables de acuerdo a las directrices de la EPA, los mayores valores de riesgo individual de cáncer se obtuvieron en las sub-series: “No activación de PAT”, “Pre Infracción”, “Pre Proyecto” y por último “Post Infracción”. Al igual que en NE-8, la sub

serie temporal que registra mayor riesgo individual de cáncer corresponde a la sub serie “No Activación de los PAT”.

Al comparar los valores de riesgo individual de cáncer obtenidos en la sub-serie “Pre Proyecto” (representativa de las concentraciones basales de arsénico en el territorio) con las sub-series posteriores, se obtiene:

- i. El valor de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie “Pre Infracción” es 1,5 veces el valor de riesgo obtenido en la sub-serie “Pre Proyecto”.
- ii. El valor de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie “No Activación de los PAT” es 3,03 veces el valor de riesgo obtenido en la sub-serie “Pre Proyecto”.
- iii. Por último el valor de riesgo individual de cáncer en la sub-serie “Post Infracción”, es inferior a aquel registrado en la sub-serie “Pre Proyecto”, en efecto, el valor de ésta última es 2,3 veces el valor registrado en “Post Infracción”.

En síntesis, las diferencias registradas entre los valores de riesgo (tanto cancerígeno, como no cancerígeno) en NE-8 y NE-9 podrían estar relacionadas con la existencia del río Pachuy, cuya confluencia con el río Chollay, ocurre entre ambos puntos de monitoreo. La presencia del Pachuy, podría modificar las características físico-químicas del escurrimiento del río Chollay, ya sea aportando sustancias químicas explicando en cierto modo la persistencia del riesgo aguas abajo del punto NE-8, o bien por efecto del aporte de caudal, aumentando la capacidad de dilución de contaminantes. En cualquier caso, el riesgo permanece aguas abajo del punto NE-8.

### 3.6.3.2 Evaluación de riesgos en Punto de Monitoreo VIT-8

#### **a) Cálculo de la dosis de exposición**

La dosis de exposición ha sido calculada en base a la fórmula propuesta en el apartado 3.4.2 del presente informe, considerando:

- La utilización de las sustancias químicas de riesgo potencial identificadas en el punto de monitoreo NE-8.
- Los datos de monitoreo de aguas superficiales en el punto VIT-8 disponibles para el período comprendido entre julio del 2000 a junio de 2015, obtenidos desde la evaluación ambiental del Proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”, el sistema de seguimiento ambiental y el proceso de revisión de RCA.
- Los parámetros para la estimación de la exposición señalados en la Tabla N°9.
- La serie de tiempo total para la que se obtuvieron datos ha sido separada en 4 sub-series de tiempo, al igual que para el punto de monitoreo NE-8, pero en este caso, se han reemplazado los nombres de las series empleadas por un número correlativo debido a que los nombres de las sub-series empleados para NE-8 y NE-9 están vinculados a los hechos infraccionales asociados a la subcuenca del Río Estrecho, no registrándose hechos infraccionales en la subcuenca del río El Carmen.
- Se ha calculado la exposición para un escenario residencial, tanto para niños como para adultos.
- La estimación de la dosis de exposición se ha desarrollado para las concentraciones medias registradas en dicho punto en cada sub serie temporal, las que han sido calculadas a través del UCL 95.

La tabla 25 presenta las concentraciones empleadas para el cálculo de la dosis de exposición por cada sub-serie de tiempo, se incluyen además concentraciones máximas, por cuanto los datos de

monitoreo de aguas superficiales del periodo julio 2014 a junio 2015 presentan valores para hierro y aluminio, que escapan a la tendencia del punto de monitoreo VIT-8, los cuales son destacados en color rojo, para identificar de esta manera cómo influyen a la hora de calcular concentraciones medias, en base a las cuales se estimará el riesgo no cancerígeno. La tabla 26, presenta los resultados de las dosis de exposición obtenidos para cada sustancia de riesgo potencial por serie de tiempo analizada, utilizando las concentraciones medias.

**Tabla 25:** Concentraciones (mg/l) empleadas para el cálculo de dosis de exposición en VIT-8, para cada una de las sub-serie de tiempo analizadas.

Sustancia Química	Valor Referencia	Serie 1 (2000 a sept.2009)		Serie 2 (oct. 2009 a ene.2012)		Serie 3 (feb.2012 a ene.2013)		Serie 4 (feb.2013 a jun.2015)	
		Máx.	UCL 95	Máx.	UCL 95	Máx.	UCL 95	Máx.	UCL 95
Hierro	0,3	11	1,210	11,00	1,193	13,00	3,392	2057,00	76,177
Manganeso	0,1	0,96	0,293	1,30	0,250	3,00	0,607	76,00	2,858
Aluminio	Inv: 2,3 Pri: 3,1 Ver: 5 Oto: 5	9,5	2,131	13,00	1,789	18,00	4,585	2169,00	80,312
Arsénico	0,01	0,0306	0,0097	0,0252	0,0106	0,0252	0,0141	0,0390	0,0101

En números color rojo, se presenta el valor máximo del Hierro y el Aluminio registrados en la sub serie temporal 4 y que de acuerdo a lo señalado por CMN SpA que elaboró el informe anual de monitoreo de aguas superficiales julio 2014 a junio 2015, dichos valores se escapan a la tendencia en el punto VIT-8.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental, 2015.

**Tabla 26:** Resultados Dosis de Exposición (mg/ [kg\*día]) en VIT-8 para cada sustancia química de riesgo potencial, para cada sub-serie de tiempo considerada. Para escenario residentes (niños y adultos).

Sustancia Química	Serie 1 (1993 a sept.2009)		Serie 2 (oct. 2009 a ene.2012)		Serie 3 (feb.2012 a ene.2013)		Serie 4 (feb.2013 a jun.2015)	
	UCL 95		UCL 95		UCL 95		UCL 95	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Hierro	8,65E-02	3,46E-02	8,52E-02	3,41E-02	2,42E-01	9,69E-02	5,44E+00	2,18E+00
Manganeso	2,10E-02	8,38E-03	1,79E-02	7,15E-03	4,33E-02	1,73E-02	2,04E-01	8,17E-02
Aluminio	1,52E-01	6,09E-02	1,28E-01	5,11E-02	3,28E-01	1,31E-01	5,74E+00	2,29E+00
Arsénico	6,91E-04	2,77E-04	7,54E-04	3,02E-04	1,01E-03	4,03E-04	7,24E-04	2,90E-04

Fuente: Elaboración propia en base a datos de monitoreo de línea de base y seguimiento ambiental, 2015.

#### **b) Caracterización del riesgo no cancerígeno: Estimación del Coeficiente de Peligrosidad**

Como ya se mencionó para el punto de monitoreo NE-8, en base a la estimación de la Dosis de Exposición para la concentración media en VIT-8 (calculado en base al UCL 95); y a la Dosis de Referencia Oral para cada una de las sustancias químicas de riesgo potencial (ver apartado 3.5.2), es posible obtener el denominado Coeficiente de Peligrosidad (HQ), que permite determinar si la dosis de referencia, es excedida por la dosis ingerida del contaminante. Posteriormente se procedió a sumar los HQ obtenidos para las diferentes sustancias dentro de la vía de exposición oral, para así

obtener un Índice de Peligro Total (IPT) para cada una de las sub-series de tiempo consideradas. La Tabla 27 presenta los resultados del HQ y del IPT, estimados para las concentraciones medias identificadas en cada sub serie temporal para las sustancias químicas de riesgo potencial cancerígeno identificadas en VIT-8.

**Tabla 27:** Resultados Coeficiente de Peligrosidad (HQ) e Índice de Peligro Total (IPT), calculados en base al **valor medio (UCL 95) de la concentración** de las sustancias químicas de riesgo potencial presentes en VIT-8.

Sustancia Química	HQ		HQ		HQ		HQ	
	Serie 1		Serie 2		Serie 3		Serie 4	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Hierro	0,1235	0,0494	0,1218	0,0487	0,3461	0,1384	7,7731	3,1093
Manganeso	0,8732	0,3493	0,7446	0,2978	1,8053	0,7221	8,5071	3,4028
Aluminio	0,1522	0,0609	0,1278	0,0511	0,3275	0,1310	5,7365	2,2946
<b>IPT</b>	<b>1,1489</b>	<b>0,4595</b>	<b>0,9942</b>	<b>0,3977</b>	<b>2,4790</b>	<b>0,9916</b>	<b>22,0168</b>	<b>8,8067</b>

Las Celdas en color rojo, resaltan aquellos valores de HQ o de IPT que exceden la unidad.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Finalmente, la tabla 28, presenta los aportes en porcentajes de cada sustancia de riesgo potencial al Índice de Peligro Total.

**Tabla 28:** Aportes en porcentaje de cada sustancia química al índice de Peligro Total en VIT-8, para concentraciones medias, por sub-serie de tiempo.

Sustancia Química	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
	UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Hierro	10,75%	12,25%	13,96%	35,31%
Manganeso	76,00%	74,90%	72,83%	38,64%
Aluminio	13,25%	12,85%	13,21%	26,06%
<b>IPT</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A través de la estimación de riesgos no cancerígenos en el punto de monitoreo VIT-8, que como ya se ha mencionado, se emplaza en la cuenca del río Carmen -cuenca de control paralela a la del río El Tránsito-, ha sido posible desprender que al igual que en el punto de exposición definido para la presente evaluación de riesgo, vale decir el punto de monitoreo NE-8, el Manganeso corresponde a la sustancia de riesgo potencial que genera más contribuciones a los resultados obtenidos a través del cálculo del Índice de Peligro Total (IPT).

Respecto de los resultados de la estimación de riesgos no cancerígenos, empleando las medias de las concentraciones de las sustancias químicas de riesgo potencial para cada sub serie temporal, se ha obtenido la existencia de riesgos no cancerígenos sólo para niños en las sub series temporales (en orden decreciente) 3 y 1. La sub serie temporal 4 arroja la existencia de riesgos no cancerígenos tanto para niños como para adultos debido a que los valores del IPT superan ampliamente la unidad, ello asociado a la existencia de valores de concentración de sustancias químicas en el agua superficial que escapan a la tendencia del punto VIT-8 y que por tanto aumentan excesivamente la concentración media registrada para dicho período de tiempo. En la sub serie temporal 2 no se registran riesgos no cancerígenos ni para niños ni para adultos.

Al analizar los resultados obtenidos para cada una de las sub-series temporales consideradas para el punto de monitoreo VIT-8, en la cuenca del Río Carmen, que se ha considerado como cuenca de

control al no haberse visto afectada por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos a la salud humana, se desprende que:

- i. En la sub-serie temporal 1, equivalente a “Pre Proyecto”, el IPT obtenido para niños supera levemente la unidad alcanzando un valor de 1,1 que de acuerdo a la metodología empleada indica la presencia de riesgos no cancerígenos. Para adultos en cambio, el IPT alcanza un valor de 0,4 es decir, no se supera la unidad, no existiendo riesgos no cancerígenos en este escenario;
- ii. En la sub-serie temporal 2, equivalente a “Pre Infracción”, el IPT obtenido tanto para niños como para adultos no supera la unidad, por lo que se desprende que en esta sub-serie temporal no habría riesgos de tipo no cancerígeno;
- iii. En la sub-serie temporal 3, equivalente a “No Activación de los PAT”, el valor de IPT para niños alcanzó un valor de 2,4; para adultos el IPT alcanzó un valor 0,9 y por lo tanto no representa riesgos de tipo no cancerígeno;
- iv. Por último en la sub-serie temporal 4, equivalente a “Post Infracción” se obtienen valores altos de IPT, lo que estaría asociado, de acuerdo a lo señalado por la propia empresa CMN SpA a la presencia de concentraciones para hierro y aluminio, durante las campañas de muestreo, que se escapan a los valores típicos encontrados en este punto de monitoreo.

Adicionalmente se realizó un ejercicio de comparación entre las sub-series temporales en el punto VIT-8, partiendo de la base que la sub-serie 1 representaría la situación basal del territorio, previo a la llegada del proyecto Pascua Lama a la comuna, de este modo se obtuvieron los siguientes resultados:

- i. Al comparar la sub-serie temporal 1, con la sub-serie 2, se tiene que el valor del IPT de esta última es 0,86 veces el IPT resultante en la sub-serie 1.
- ii. Si se compara la sub-serie temporal 1, con la sub-serie temporal 3, se tiene que el valor de riesgo de esta última es 2,15 veces el valor de riesgo considerado como basal.

Se ha optado por no considerar en éste análisis a la sub serie 4, ello debido a que los valores de IPT obtenidos no serían representativos de la situación típica del punto de monitoreo VIT-8.

Resumiendo, los valores de riesgo estimados para un punto de monitoreo localizado en la cuenca de control, son en general menores a los valores registrados en los puntos localizados en la cuenca del río Tránsito (NE-8 y NE-9), excepto en la sub serie temporal 4, debido a que en esta última sub-serie se registraron valores de concentración que generan que la media se escape respecto de la tendencia del Punto VIT-8.

### ***c) Caracterización del riesgo cancerígeno: Estimación del Riesgo Extra de Cáncer durante el tiempo de vida***

Considerando que el Arsénico corresponde a una sustancia química cancerígena, de acuerdo a los antecedentes relevados durante la caracterización cualitativa de toxicidad, se procedió a estimar el riesgo extra de cáncer durante el tiempo de vida, conforme al procedimiento propuesto en el apartado 3.6.2, obteniéndose el riesgo individual de contraer cáncer por la exposición al Arsénico, en el punto de monitoreo VIT-8. La localidad más cercana corresponde a la Plata, que se emplaza a aproximadamente 22 km aguas abajo del Punto VIT-8, por lo que se ha optado por no calcular el riesgo poblacional de contraer cáncer para este punto de monitoreo.

La tabla 29 presenta las estimaciones del riesgo individual de contraer cáncer por exposición a Arsénico en VIT-8.

**Tabla 29:** Estimaciones del riesgo individual de contraer cáncer por exposición a Arsénico en VIT-8.

Riesgo Individual de Cáncer			
Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
4,15E-04	4,52E-04	6,04E-04	4,35E-04

*Las celdas en color rojo muestran aquellos valores de riesgo individual alto o inaceptable, de acuerdo a las recomendaciones de la U.S. EPA*

*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

Con respecto a la existencia de riesgos de cáncer asociado a la presencia de Arsénico en aguas superficiales en el punto de monitoreo VIT-8, los valores de riesgo individual de contraer cáncer durante el tiempo de vida fluctúan entre 4 y 6 casos en 10.000 personas, por lo que para las cuatro series temporales definidas superan los límites de riesgo aceptable establecidos por la EPA para el arsénico.

Al comparar los valores de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, asumiendo que esta sub-serie representa una condición basal de concentraciones de arsénico en el territorio, con las sub-series temporales posteriores, se tiene que:

- i. El valor de riesgo individual de cáncer registrado durante la sub-serie temporal “Pre Infracción”, es 1,09 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido durante la sub-serie temporal “Pre Proyecto”.
- ii. El valor de riesgo individual de cáncer obtenido durante la sub-serie “No activación de los PAT” es 1,4 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”
- iii. En la sub-serie temporal “Post Infracción” el valor de riesgo individual de cáncer es 1,05 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido en la sub-serie temporal “Pre Proyecto”.

### 3.7 Discusión de los resultados obtenidos

Teniendo a la vista los resultados obtenidos de la estimación de riesgo tanto para el punto de exposición considerado, correspondiente al punto de monitoreo NE-8, así como para los puntos de control definidos en la elaboración del presente análisis, vale decir NE-9 (aguas abajo de NE-8) y VIT-8 (emplazado en sub cuenca del río El Carmen), ha sido posible establecer la existencia de riesgos no cancerígenos y cancerígenos.

Para el caso de los riesgos no cancerígenos, el Manganeseo corresponde a la única sustancia química cuyo Coeficiente de Peligro (HQ) supera por sí solo la unidad y que por tanto, podría generar riesgos de tipo no cancerígeno. Además, considerando los resultados obtenidos en este estudio, el Manganeseo corresponde a la sustancia química que porcentualmente genera los mayores aportes al Índice de Peligro Total (IPT), para las sub series de tiempo consideradas, tanto en NE-8 (aportes que fluctúan entre el 85% y el 91%), para NE-9 (aportes que fluctúan entre el 76% y el 88%) y para VIT-8 (aportes que fluctúan entre el 38% y el 76%).

De esta forma es posible establecer que existe una relación directa entre la presencia de Manganeseo y los valores de Índice de Peligro Total obtenidos, sin embargo, es importante destacar que la metodología de evaluación de riesgos aplicada no tiene herramientas específicas para determinar

la causalidad de los resultados obtenidos, aunque es posible realizar otros análisis teniendo en consideración que detrás de cada índice de peligro están las concentraciones medias utilizadas en cada sub serie de tiempo analizada.

Dado lo anterior, se realizó un ejercicio adicional consistente en comparar la evolución de los valores de riesgo obtenido -tanto cancerígenos como no cancerígenos-, comparando los valores de riesgo obtenidos en cada una de las sub-series de datos analizadas en el tiempo, para cada uno de los puntos de monitoreo considerados en la presente evaluación de riesgos a la salud humana, mediante el cálculo de la razón entre los valores resultantes entre sub series temporales y entre el punto de monitoreo NE-8 y los puntos de control considerados, especialmente VIT-8, por localizarse en una cuenca distinta a aquella que se habría visto afectada por los hechos infraccionales levantados por esta Superintendencia.

Luego, en base a los resultados de riesgo no cancerígeno obtenidos en NE-8 y en los puntos de control adicionales considerados, ha sido posible establecer comparaciones, específicamente entre los valores de Índice de Peligro Total registrados en NE-8 y el punto de control VIT-8, emplazado en la cuenca del Río El Carmen, la cual no habría sido influenciada por el Proyecto. La tabla 30 resume los resultados del Índice de Peligro Total obtenidos en los puntos de monitoreo NE-8, NE-9 y VIT-8:

**Tabla 30:** Valores de Índice de Peligro Total (IPT), obtenidos para el punto NE-8 y para los puntos de control adicionales considerados, correspondientes a NE-9 y VIT-8.

Sub-series temporales consideradas	VALORES ÍNDICE DE PELIGRO TOTAL (IPT)					
	Punto NE-8		Punto NE-9		Punto VIT-8	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Sub-serie Pre Proyecto	2,9203	1,1681	2,120	0,848	1,1489	0,4595
Sub-serie Pre Infracción	7,6692	3,0677	6,677	2,671	0,9942	0,3977
Sub-serie No Activación PAT	7,4347	2,9739	5,470	2,188	2,4790	0,9916
Sub-serie Post Infracción	4,2067	1,6827	2,225	0,890	22,0168	8,8067

Las Celdas en color rojo, resaltan aquellos valores de IPT que exceden la unidad.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Al observar los resultados obtenidos, es posible señalar que en el punto de monitoreo NE-9 persiste la situación de riesgo identificada para NE-8, ello por cuanto los valores del IPT en NE-9, se comportan de manera similar pero con distinta magnitud a aquellos obtenidos en NE-8. Adicionalmente y considerando que la existencia del río Pachuy, como afluente del río Chollay, entre los Puntos de Monitoreo NE-8 y NE-9, podría estar aportando concentraciones de minerales adicionales al Río Chollay, se ha decidido centrar el análisis entre los Puntos de Monitoreo NE-8 y VIT-8, con la finalidad de comparar cuencas diferentes, pero emplazadas en el mismo territorio, una de ellas -la del Río Chollay- eventualmente influenciada por los hechos infraccionales que dan origen a esta evaluación de riesgos; y otra -la del Río El Carmen- sin influencia de aquellos hechos.

De esta forma, al comparar los resultados de los Índices de Peligro Total (IPT) obtenidos en NE-8 y VIT-8 para cada una de las sub-series temporales consideradas se tiene que:

- i. Los valores del IPT durante la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, que corresponde al periodo comprendido entre el inicio de los monitoreos históricos en los Puntos NE-8 y VIT-8 y el mes de septiembre de 2009, previo al inicio de la construcción del Proyecto Pascua Lama, superan la unidad para niños tanto en NE-8 como en VIT-8. Para adultos, en NE-8 se supera la unidad

mientras que en VIT-8 los valores del IPT se encuentran por debajo de la unidad, por lo tanto la exposición global a los contaminantes analizados, no representa riesgos a la salud para este tipo de receptores. Al observar los resultados de IPT arrojados a partir de la estimación de los riesgos no cancerígenos, es posible señalar que el valor del IPT en NE-8 es 2,5 veces el valor registrado en VIT-8, durante el periodo previo a la llegada del Proyecto al territorio.

- ii. Los valores del IPT obtenidos durante la sub-serie temporal "Pre Infracción", que corresponde al periodo de tiempo comprendido entre el inicio de la construcción del Proyecto Pascua Lama (octubre de 2009) a enero de 2012, muestran que en NE-8, tanto para niños como para adultos alcanzan las 7 y 3 unidades, respectivamente. En cambio en el punto de monitoreo VIT-8, se observa que el IPT no supera la unidad para niños, ni para adultos. Al comparar ambos puntos de monitoreo es posible establecer que el valor de IPT registrado en NE-8 para niños (y para adultos) es 7,7 veces el IPT registrado en VIT-8.
- iii. Los valores del IPT obtenidos durante la sub-serie temporal "No Activación de los PAT", que corresponde al periodo comprendido entre febrero de 2012 a enero de 2013, muestran que para niños tanto en NE-8 como en VIT-8, los IPT resultantes superan el valor 1; para adultos en cambio, sólo se supera la unidad en el punto de monitoreo NE-8. Al comparar los valores de IPT obtenidos en los puntos de monitoreo NE-8, con los valores del IPT en VIT-8, se tiene que el valor de IPT para niños en NE-8 es 2,9 veces el valor de IPT registrados en VIT-8.

Considerando que para el periodo correspondiente a la sub-serie temporal "Post Infracción" el punto de monitoreo VIT-8 registró concentraciones para aluminio y hierro que escapan de la tendencia de dicho punto, es que se estimó inadecuado comparar los valores de IPT obtenidos en esta sub-serie temporal con aquellos registrados en el punto de monitoreo NE-8, por cuanto las conclusiones que se extraigan pueden inducir a errores interpretativos.

A la luz de los resultados obtenidos de la comparación entre los valores de Índice de Peligro Total obtenidos en los puntos de monitoreo NE-8 y VIT-8, ha sido posible establecer la existencia de valores de riesgo que superan el valor 1 tanto en la sub subcuenca del Río Chollay, en la que se manifestaron los hechos infraccionales que dan origen a esta evaluación de riesgos y en la sub cuenca del río El Carmen, cuenca de control que no se encontraría influenciada por dichos hechos infraccionales. No obstante lo anterior, al observar el comportamiento de los valores del Índice de Peligro Total registrado en ambos puntos de monitoreo, es posible desprender que los valores de IPT son mayores en el Punto NE-8. Así mismo al observar las diferencias registradas entre la sub serie "Pre Proyecto", representativa de una situación basal del territorio, tanto para NE-8 como para VIT-8, con la sub-serie temporal inmediatamente posterior, vale decir "Pre Infracción", es posible señalar que en NE-8 los valores de IPT tienden a aumentar, mientras que en VIT-8 los valores de IPT en la sub-serie "Pre Infracción" resultan menores que la sub-serie "Pre Proyecto", que sería representativa de la situación basal o natural del territorio, previo a la construcción del Proyecto.

A continuación la tabla 31 presenta los valores de Riesgo Individual de Cáncer obtenidos en los puntos de monitoreo NE-8, NE-9 y VIT-8:

**Tabla 31:** Valores de Riesgo Individual de Cáncer por exposición a concentraciones de Arsénico, obtenidos para el punto de monitoreo NE-8 y para los puntos de control adicionales considerados, correspondientes a NE-9 y VIT-8.

SUB-SERIES TEMPORALES CONSIDERADAS	VALORES DE RIESGO INDIVIDUAL DE CÁNCER		
	Punto NE-8	Punto NE-9	Punto VIT-8
Sub-serie Pre Proyecto	1,18E-04	5,12E-04	4,15E-04
Sub-serie Pre Infracción	7,57E-04	8,09E-04	4,52E-04
Sub-serie No Activación PAT	1,00E-03	1,55E-03	6,04E-04
Sub-serie Post Infracción	1,56E-04	1,19E-04	4,35E-04

*Las celdas en color rojo muestran aquellos valores de riesgo individual alto o inaceptable, de acuerdo a las recomendaciones de la U.S. EPA  
Fuente: Elaboración propia, 2016.*

En los tres puntos de monitoreo analizados, se observa que para las 4 sub-series temporales consideradas se superan los valores de riesgo aceptable, de acuerdo a las directrices de la U.S. EPA. Si bien es cierto que los valores de riesgo individual de cáncer previos a la construcción del Proyecto (ver sub serie temporal “Pre Proyecto”) superaban el umbral de aceptabilidad establecido por U.S. EPA, estos valores, en los tres puntos considerados, experimentan un aumento durante las sub series temporales “Pre Infracción” Y “No Activación de PAT”, siendo ésta última la que experimenta valores de riesgo individual de cáncer más altos, para los tres puntos analizados.

Al igual que para las sustancias no cancerígenas, se observa que en el punto de monitoreo NE-9 persiste el riesgo cancerígeno identificado en NE-8. Ahora bien, al comparar los valores de riesgo individual de cáncer obtenidos para el punto de monitoreo NE-8, con los valores obtenidos para el punto de monitoreo VIT-8, emplazado en la subcuenca del río El Carmen, aledaña a la sub subcuenca del río Chollay, que alberga al punto NE-8, es posible desprender lo siguiente:

- i. Durante la sub-serie temporal “Pre-proyecto” (equivalente a sub-serie 1 en VIT-8), los valores de riesgo individual de cáncer, en ambos puntos de monitoreo, superan los valores considerados como aceptables por la U.S. EPA, observándose que el valor de riesgo individual de cáncer es mayor en el punto emplazado en la cuenca de control, es decir en VIT-8, siendo 2,8 veces el valor de riesgo individual de cáncer obtenido en NE-8.
- ii. Para la sub-serie temporal “Pre Infracción” (equivalente a sub-serie 2 para VIT-8), se observa que la tendencia descrita en la sub-serie “Pre Proyecto” se invierte, es decir, si bien es cierto tanto en NE-8, como VIT-8 se superan los umbrales de riesgo de cáncer aceptables por la EPA, el valor de riesgo individual identificado en NE-8, es 1,6 veces el valor registrado en VIT-8.
- iii. La sub-serie temporal “No activación de los PAT” (equivalente a sub-serie temporal 3 para VIT-8), presenta la misma tendencia que la sub-serie “Pre Infracción”, observándose que si bien es cierto, tanto en NE-8 como en VIT-8 se superan los umbrales de riesgo aceptable por la U.S. EPA, el valor de riesgo individual de cáncer obtenidos en NE-8 es 1,6 veces el valor obtenido en VIT-8 en.
- iv. Durante la sub-serie temporal “Post Infracción” (equivalente a sub-serie 4 en VIT-8), se observa que los valores de riesgo individual de cáncer obtenidos retornan a la situación original identificada en la sub-serie “Pre Proyecto”. El valor de riesgo individual de cáncer en VIT-8 es 3,5 veces el valor de riesgo registrado en NE-8.

### 3.8 Manejo de las Incertidumbres

Las metodologías de evaluación de riesgos empleadas para la elaboración del presente documento, recomiendan analizar e incorporar dentro del análisis de riesgo, a las fuentes de incertidumbre, así como los supuestos utilizados; ello con la finalidad de comprender las eventuales sobreestimaciones o subestimaciones incurridas en el análisis.

Es así, que se ha intentado sistematizar todas las fuentes de incertidumbre para el presente análisis, señalando las medidas tomadas para minimizarlas:

#### 1. Incertidumbres relacionadas con la metodología empleada:

- El procedimiento de evaluación de riesgos a la salud humana empleado en el presente informe, se ha basado en las metodologías de la US EPA y de la OPS, esta última a su vez ha adaptado la metodología de la EPA a la realidad latinoamericana, por lo que las metodologías utilizadas para la presente evaluación de riesgos a la salud han sido validadas y empleadas internacionalmente.
- Considerando que este análisis se elabora en base a una serie temporal de datos, es que para la etapa de estimación de la dosis de exposición en base a la que posteriormente se estiman los correspondientes índices de peligro, se ha decidido subdividir la serie de tiempo completa (que abarca desde el año 1997 al 2015), en sub-series de tiempo, que permiten entender la evolución de las concentraciones de las sustancias químicas de riesgo potencial en el punto de exposición NE-8, a partir de distintos hitos, asociados a la presencia del Proyecto Pascua Lama en el territorio, permitiendo generar información que facilite comprender el comportamiento de las concentraciones de sustancias químicas de interés en aguas superficiales antes y después de la instalación del Proyecto en la zona.
- Respecto de la selección del área de estudio y considerando que no se encuentran asentamientos humanos en los radios de uno y tres kilómetros desde el Punto de Exposición NE-8, se ha optado por seleccionar a la localidad más cercana, correspondiente a Chollay, dentro de la cual se encuentra la entidad poblada de El Canuto, que corresponde a la entidad más cercana al Proyecto minero.
- Con respecto a la selección del escenario de exposición, se ha priorizado un enfoque hacia el resguardo de la vida de las personas, potenciales receptores que residen en el sector y que durante toda su vida han consumido agua directamente desde NE-8, por lo que se priorizó el uso de un escenario residencial, que es más conservador.
- Respecto del punto de exposición considerado en el modelo conceptual planteado para la elaboración del presente análisis, se estableció que éste correspondía al punto de monitoreo NE-8, tomando en cuenta que la evaluación ambiental establece que desde dicho punto se extrae agua para la bebida humana. Si bien es cierto, posterior a la evaluación ambiental comenzó a funcionar el sistema de agua potable rural (APR) de Chollay, este sistema se orienta, de acuerdo a lo señalado por el MOP (2014), a abastecer a localidades concentradas, por tanto aquellas viviendas semiconcentradas y dispersas no tendrían acceso al agua potable desde dicho sistema. Es por todo aquello, que el modelo conceptual se sustenta en la consideración de NE-8 como potencial punto de exposición para los receptores considerados.

#### 2. Incertidumbres asociadas a los datos empleados para la evaluación de riesgo:

- Incertidumbres asociadas a la estimación de los valores naturales o basales de las sustancias químicas encontradas en la sub-componente ambiental analizada, ello debido a la escasez

de estudios oficiales que permitan conocer la concentración de sustancias químicas en distintas matrices ambientales, en condiciones previas a las intervenciones antropogénicas, lo que dificulta realizar estimaciones del aporte real de las fuentes, a la exposición (CENMA – MMA, 2013).

- Incertidumbres relacionadas con la cuantificación de los contaminantes, puesto que para la evaluación efectuada, se han empleado las concentraciones totales de los parámetros considerados en el análisis, y no las concentraciones disueltas. Las concentraciones totales han sido empleadas pues consideran la fracción de sólidos en suspensión, que eventualmente podrían ser ingeridos por una persona, en caso de no realizarse una debida filtración del agua en una planta de potabilización. Considerando el contexto rural del área de estudio se ha decidido emplear valores totales, por ser éstos más conservadores.
- Si bien es cierto se han empleado los datos aportados por la compañía CMN SpA durante el proceso de evaluación ambiental, seguimiento ambiental y revisión de RCA, debido a la escasez de monitoreos en NE-8 desarrollados por parte de instituciones del Estado, las bases de datos se han complementado a través del uso de datos levantados por la propia SMA durante la realización de actividades de fiscalización ambiental.
- Respecto de los datos empleados para la caracterización del riesgo, se ha asumido que éstos poseen una distribución normal, en base a lo cual se optó por emplear el UCL 95 de la concentración de las sustancias químicas de riesgo potencial para cada sub serie temporal.

3. Incertidumbres relacionadas con el cálculo de la dosis de exposición:

- El presente análisis ha considerado que las sustancias químicas de riesgo potencial consideradas han sido absorbidas por el receptor en un 100%, por esto se ha empleado un Factor de Exposición (FE) igual a 1, ello considerando que los receptores son residentes que consumen agua diariamente, por lo que respondiendo a un principio precautorio, se emplea un valor conservador, de acuerdo a lo recomendado por la OMS (2005, a).
- Respecto de valores asociados a la tasa de ingestión de agua, así como de peso corporal por parte de niños y adultos, y años de vida; se han utilizado factores empleados por la OPS, que también han sido recomendados por EPA.

4. Incertidumbres asociadas a la evaluación de la Toxicidad:

Con respecto a las dosis de referencia crónica oral, se han empleado aquellas que se encuentran actualizadas (a junio de 2015), de acuerdo a la base de datos del Regional Screening Level (RSL), las que han sido recomendadas por la US EPA.

### 3.9 Conclusiones

De acuerdo a los antecedentes que originaron la realización de esta evaluación de riesgo a la salud humana, es decir, la necesidad de determinar o descartar la existencia de riesgos a la salud de la población que pudiese estar relacionado a los hechos constitutivos de infracción, específicamente la no activación de los planes de alerta temprana por parte de CMN SpA, titular de las obras asociadas al Proyecto Pascua Lama y verificados por la SMA en enero de 2013, es que se optó por desarrollar un modelo conceptual, que permitiera comprender la dinámica de las sustancias químicas de riesgo potencial desde su fuente de generación, hasta los potenciales receptores. A partir de esta hipótesis de trabajo, fue posible desarrollar la evaluación de riesgos a la salud humana. Para ello, la serie de datos disponible para el punto de monitoreo NE-8, fue subdividida en cuatro sub series de tiempo, respondiendo a hitos asociados a la implementación del Proyecto Pascua Lama

en el territorio: Serie Pre Proyecto (1997 a sept.2009), Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012), Serie no Activación de PAT (feb.2012 a ene.2013) y Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015). Realizándose la estimación de riesgo cancerígeno y no cancerígeno para cada una de estas series de tiempo.

El área de estudio sitio específico, definido para la realización de esta evaluación de riesgo a la salud humana, correspondió a la localidad de Chollay, conformada por las entidades pobladas de Chollay, Pachuy y El Canuto, la cual se inserta en la comuna de Alto del Carmen en la Región de Atacama y se localiza en la sub-subcuenca del río Estrecho/ Chollay. Esta localidad corresponde a aquella que se emplaza más cercana al punto de monitoreo NE-8, que corresponde al primer punto de captación de agua para la bebida humana, de acuerdo a lo señalado por CMN SpA, durante la evaluación ambiental del Proyecto *“Modificaciones Proyecto Pascua Lama”* y que por lo tanto ha sido considerado como el potencial punto de exposición para la población, a las sustancias de riesgo potencial identificadas.

La población emplazada en el área de estudio, es eminentemente rural, el patrón de emplazamiento de la población, responde a la ubicación de los cursos de agua superficial, por lo que las viviendas de los habitantes del área de estudio, se emplazan cercanos a cursos hídricos.

El curso hídrico principal del área de estudio corresponde al río Chollay, el que antes de su confluencia con el río Blanco se denomina río Estrecho (en cuya cabecera se emplazan las obras de Proyecto Pascua Lama). En el área de estudio, también se encuentra el río Pachuy, que da el nombre a la entidad poblada emplazada en sus cercanías y que aporta caudales al río Chollay aguas abajo del NE-8. Cabe destacar que los recursos hídricos existentes en el área de estudio recibirían la influencia de las características mineralógicas de la parte alta de la sub subcuenca (río Estrecho), presentando metales de manera natural, lo que se asocia a las características litológicas de la zona más alta de la sub subcuenca.

En base a los antecedentes recopilados durante la etapa de caracterización del sitio, ha sido posible reconocer la existencia de niveles basales o naturales de metales en las aguas superficiales de la parte alta de la cuenca del río Huasco. De acuerdo a las series de datos históricos de calidad de aguas para puntos de Monitoreo como NE-8, parámetros como Hierro y Manganeseo han presentado excedencias a la Norma Chilena de Agua Potable.

A partir de los resultados obtenidos luego de la aplicación de las etapas recomendadas para la ejecución de la evaluación de riesgos a la Salud Humana, ha sido posible concluir lo siguiente:

1. Aun cuando la metodología de evaluación de riesgos a la salud humana no ha sido diseñada para arribar a conclusiones asociadas a determinar la causalidad de los riesgos identificados en un sitio específico, es de utilidad para la cuantificación de dichos riesgos. En este caso permitió cuantificar los riesgos no cancerígenos y cancerígenos, a los que estarían expuestos los habitantes de la localidad de Chollay, en el escenario planteado (consumiendo agua de manera permanente extraída desde el punto de monitoreo NE-8).
2. Las sustancias químicas identificadas con un riesgo potencial, para la vía de exposición oral en el punto de exposición definido, es decir NE-8 corresponden a Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Aluminio (Al) y Arsénico (As). Las razones de esta caracterización tiene relación con la identificación de excedencias, durante un periodo de tiempo dado, a los valores de referencia establecidos tanto en la NCh N°409, como en los límites para los parámetros de Drenaje Ácido de Roca, establecidos en base a los expuesto en la sentencia causa Rol R-06-2013 del Segundo Tribunal Ambiental. De las cuatro sustancias de riesgo el hierro, el manganeseo y el aluminio

corresponden a sustancias clasificadas como no cancerígenas, de acuerdo a los antecedentes recopilados a través del banco de datos IRIS de la U.S. EPA; el Arsénico, a su vez corresponde a una sustancia química que podría ocasionar efectos no cancerígenos y cancerígenos, debido a lo cual y en base a I. Lema, M. Zuk y L. Rojas-Bracho, (2010, pág. 71), la estimación de riesgos se enfocó en los efectos cancerígenos del Arsénico, ello para abordar de manera más conservadora la evaluación de riesgos a la salud humana.

3. Para hierro, manganeso y aluminio se desarrolló una estimación de riesgos no cancerígenos, priorizando los efectos crónicos de las mismas, ello tomando en consideración que las personas que residen en la localidad de Chollay, habrían estado permanentemente expuestas –a lo largo de sus vidas- a dichas sustancias. Para estas tres sustancias de riesgo potencial no cancerígeno y considerando la priorización de efectos crónicos, se calcularon los Coeficientes de Peligro (HQ) así como el Índice de Peligro total (IPT) para cada sub serie de tiempo utilizando las concentraciones medias (UCL 95) registradas en cada sub serie de tiempo considerada. El riesgo fue estimado considerando un escenario residencial, en que habitan tanto niños como adultos, por lo que los resultados se desglosaron para estos dos tipos de receptores.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, fue posible desprender que la sustancia química cuyo Coeficiente de Peligrosidad (HQ) genera mayores aportes a los resultados del Índice de Peligro Total (IPT), corresponde al Manganeso, siendo esta sustancia la que estaría generando riesgo por sí sola. A partir ello ha sido posible determinar que el hierro y el aluminio por sí mismos no generarían riesgos crónicos no cancerígenos a la salud de la población de la localidad de Chollay.

Respecto de los resultados de la estimación de riesgos no cancerígenos para cada una de las series de tiempo consideradas para el punto de exposición definido, es decir NE-8, cabe destacar en las cuatro sub-series temporales analizadas los Índices de Peligro Total (IPT) obtenidos superan la unidad para receptores niños y adultos, representando una exposición global que podría implicar un efecto potencialmente adverso a la salud durante todas las sub-series analizadas.

Los IPT más bajos se registraron durante la sub-serie temporal “Pre Proyecto”, sin embargo dichos valores superaron la unidad tanto para niños como para adultos, aportados principalmente por el Coeficiente de Peligrosidad del Manganeso, dando cuenta de la eventual existencia de riesgos no cancerígenos previo a la instalación del Proyecto Pascua Lama, lo que estaría influido por las condiciones naturales del territorio, asociada a la presencia de mineralización natural de las rocas, lo que influencia la calidad natural de las aguas, aumentando la cantidad de metales en las mismas.

En la sub-serie de tiempo denominada “Pre Infracción”, se registraron los mayores IPT del punto de monitoreo NE-8, tanto para adultos, como para niños. La sub-serie de tiempo “No Activación de PAT”, posee los IPT más altos luego de la sub serie temporal “Pre Infracción”. Finalmente en la sub serie temporal “Post Infracción”, los valores de IPT obtenidos tienden a volver a aquellos registrados durante la sub-serie “Pre Proyecto”.

En síntesis, para el punto de exposición definido en el presente estudio, correspondiente al punto de monitoreo NE-8 (caracterizado durante la evaluación ambiental como el punto más cercano al Proyecto desde el cual se extraía agua para la bebida humana) y en base los

resultados obtenidos a través de la estimación de riesgos no cancerígenos, ha sido posible establecer la existencia de potenciales riesgos de tipo no cancerígeno, durante las cuatro sub series temporales analizadas, siendo las sub series temporales “Pre Infracción”, seguida por “No Activación de PAT”, las sub series temporales que presentan Índices de Peligro Total más altos.

4. Para estimar los riesgos cancerígenos asociados a la exposición crónica al Arsénico en el punto de exposición definido para el presente estudio, vale decir el punto de monitoreo NE-8, se calculó el Riesgo Extra de contraer Cáncer durante el tiempo de Vida (RECV), obteniéndose el riesgo individual de contraer cáncer por la exposición al Arsénico presente en el agua superficial empleada hipotéticamente para la bebida. Los resultados del riesgo individual obtenidos en las cuatro sub series de tiempo consideradas superan el nivel de riesgo aceptable establecido por la US EPA (superando 1 caso en 10.000 personas), siendo la sub serie temporal de “No Activación del PAT”, la que registró el valor de riesgo cancerígeno más alto.

En base al riesgo individual fue posible calcular el riesgo poblacional de contraer cáncer utilizando el número de habitantes de la localidad de Chollay. Ahora bien, al calcular los valores de riesgo poblacional -esto es multiplicando el riesgo individual por la población de la localidad de Chollay-, se obtiene que el riesgo poblacional no alcanzó un caso en ninguna de las sub series temporales analizadas, esto debido a que el número de personas que habitan en la localidad de Chollay, según el Censo de 2002, alcanza sólo a los 202 habitantes.

5. A partir de la estimación de riesgos no cancerígenos y cancerígenos en dos puntos de control adicionales, ha sido posible concluir lo siguiente:
  - i. En relación a los riesgos no cancerígenos estimados para el punto de control NE-9, ubicado aguas abajo del punto de monitoreo NE-8, punto de exposición definido para la presente evaluación de riesgos a la salud humana, persiste la situación de riesgo identificada para NE-8. En un escenario de riesgo calculado en base a las concentraciones medias registradas en cada sub serie temporal, el comportamiento de riesgo en NE-9 es similar a NE-8, los mayores IPT se registran en la sub serie “Pre Infracción”, seguida “No Activación de PAT”, “Post Infracción” y por último “Pre Proyecto”, pese a esta tendencia similar, en las sub series temporales “Pre Proyecto” y “Pre Infracción”, no se registran riesgos no cancerígenos para receptores adultos.
  - ii. A partir de la estimación de riesgos cancerígenos en base a las concentraciones de Arsénico registradas en NE-9 ha sido posible desprender que el comportamiento del Arsénico en este punto de control es similar al de NE-8, por cuanto los valores de riesgo individual de contraer cáncer superan los niveles de riesgo aceptables establecidos en las directrices de la EPA, en las cuatro sub series temporales analizadas, registrándose los mayores niveles de riesgo individual en la sub serie “No activación de PAT”, seguida por sub-serie “Pre Infracción” y sub-serie “Pre Proyecto
  - iii. La estimación de riesgos no cancerígenos en el punto de monitoreo VIT-8, localizado en una situación similar a NE-8 pero en la cuenca del Río El Carmen, cuyo curso hídrico principal no habría sido afectado directamente por los hechos infraccionales que dan origen a la presente evaluación de riesgos a la salud humana, ha sido realizada en base a las concentraciones medias de las sustancias de riesgo potencial identificadas en cada sub-serie temporal consideradas. Las estimaciones de riesgos no cancerígenos por sub-serie de tiempo arrojaron la existencia de riesgos no cancerígenos para niños en las series temporales N°3 y N°1 (equivalentes a sub series “No Activación de PAT” y “Pre Proyecto”, respectivamente). La sub serie temporal 4, equivalente a la sub serie temporal “Post

infracción”, presenta los mayores valores de IPT tanto para niños como para adultos, debido a los altos valores de Hierro y Aluminio registrados en dicho período, que de acuerdo a lo reportado por CMN SpA escaparían de la tendencia registrada en VIT-8.

Los resultados de la estimación de riesgos no cancerígenos en VIT-8, arrojaron valores de IPT menores a aquellos encontrados en NE-8. El comportamiento de los IPT en VIT-8, no sigue la misma tendencia que en NE-8, en las sub-series de tiempo consideradas. Al comparar por ejemplo los IPT de las sub-series Pre Proyecto y Pre infracción en NE-8, se obtuvo que el IPT de esta última es 2,5 veces el IPT de Pre Proyecto, observándose un aumento en los valores de IPT entre pre proyecto y pre infracción. En VIT-8, en cambio, al comparar el IPT obtenido en la sub-serie Pre Proyecto con la sub-serie Pre Infracción se tiene que este último es menor que el obtenido en Pre Proyecto.

- iv. A partir de la estimación de riesgos cancerígenos asociados a la presencia de Arsénico en el punto de control VIT-8, fue posible estimar que para las cuatro series de tiempo consideradas se superan, los límites de riesgo aceptable por la EPA. Al comparar los resultados de los valores de riesgo individual de cáncer obtenidos en VIT-8 y en NE-8, pudo observarse que en VIT-8 la evolución de los valores de riesgo individual de cáncer se mantienen más estables, que aquellos registrados en NE-8.

## REFERENCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007). Public Health Statement for Arsenic. Recuperado el 15 de junio de 2015 desde sitio web de la ATSDR: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008). Public Health Statement for Aluminum. Recuperado el 12 de junio de 2015 desde sitio web de la ATSDR: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22-c1-b.pdf>

Arcadis Geotécnica (2004). Estudio de Impacto Ambiental “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

Arcadis Geotécnica (2005). Adenda N°1 Estudio de Impacto Ambiental “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (2014). Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente en la Población de Mollehuaca. Recuperado el 22 de diciembre de 2015 desde sitio web: <http://181.65.172.167/siararequipa/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=219&idTipoElemento=2>

Barrick (2005). Adenda N°2 Estudio de Impacto Ambiental “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

Barrick (2006). Adenda N°3 Estudio de Impacto Ambiental “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

Carolina Villagrán (2006). Pascua Lama: Amenaza a la Biodiversidad. OCEANA, Documento 20, 2006.

Centro Nacional de Medio Ambiente y Ministerio de Medio Ambiente (2013). Informe Final: Evaluación preliminar de riesgos a la salud de la población de la cuenca del Estero el Cobre asociados con contaminantes ambientales originados por actividad minera, en relación con la exposición hídrica y agroalimentaria. Santiago, Chile.

Comisión Nacional de Riego (2011). Estudio de Prefactibilidad “Proyecto de Mejoramiento del sistema de Riego en el Río Carmen, Región de Atacama. Volumen 3: Estudio de Análisis Ambiental. Santiago, Chile.

Comunidad de Madrid (2011). Instrucciones técnicas para el análisis de riesgos para la salud humana en el ámbito del Real Decreto 9/2005 de 14 de enero en la Comunidad de Madrid. Recuperado el 1 de julio de 2015 desde [http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM\\_InfPractica\\_FA&cid=1114178591774&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pv=1142659549913](http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_InfPractica_FA&cid=1114178591774&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pv=1142659549913)

Comisión Regional de Medio Ambiente de Atacama (2001). Resolución Exenta N°31/2001 que califica Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Pascua Lama”.

Comisión Regional de Medio Ambiente de Atacama (2006). Resolución Exenta N°24/2001 que califica favorablemente el Estudio de Impacto Ambiental de Proyecto “Modificaciones Proyecto Pascua Lama”.

Del Fávero, G. y Katz, R. (1998). El Uso de normas de calidad y emisión en la gestión de los recursos hídricos. Estudios Públicos, 69 (verano 1998).

Dirección General de Aguas – Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Huasco. Chile, Diciembre de 2004.

Instituto Nacional de Normalización (2005). Norma Chilena N°409/1. Of2005. Agua Potable parte 1, requisitos. Santiago de Chile.

Marcó, L.; Azario, R.; Metzler, C.; García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Higiene y seguridad, 4. Págs. 72-82. Argentina.

Ministerio de Minería, Subsecretaría de Minería, Consejo Minero, Subsecretaría de Economía, Consejo Nacional de Producción Limpia (2002). Volumen 6: Guía Metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera. Acuerdo marco de producción limpia sector gran minería: buenas prácticas y gestión ambiental. Recuperado el 12 de junio de 2015 desde sitio web de SERNAGEOMIN: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/DocumentosRelacionados/Guia-Metodologica-Drenaje-Acido-Industria-Minera.pdf>

Ministerio de Obras Públicas (2014). Identificación de brechas para la disponibilidad de agua potable rural. Chile: Todos con agua; Regiones piloto Atacama y Los Ríos. Chile. Recuperado el 23 de junio de 2015 desde: [http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Uploads/ListasContenido/Documentos/DIAGNOSTICO\\_CHILE\\_TODOS\\_CON\\_AGUA.pdf](http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Uploads/ListasContenido/Documentos/DIAGNOSTICO_CHILE_TODOS_CON_AGUA.pdf)

Ministerio del Medio Ambiente (2012). Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes. Santiago, Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (2013). Resolución Exenta N°406 Aprueba guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes y sus anexos y deja sin efecto resolución que indica. Santiago de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (2014). Evaluación de riesgos para la salud de las personas y biota terrestre por la presencia de contaminantes, en el área de influencia industrial y energética de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Quillota, Chile.

Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1: Recomendaciones. Tercera Edición.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2005 a). Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Curso de auto instrucción en metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Recuperado el 12 de junio de 2015 desde sitio web de la OPS: <http://www.bvsde.paho.org/tutorial3/e/index.html>

Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2005 b). Curso de auto instrucción Evaluación del Riesgo asociado a contaminantes del aire. Recuperado el 03 de noviembre desde el sitio web de la OPS: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_riesgoaire/index.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_riesgoaire/index.html)

Salinas, B. (2007). Implicancias territoriales del Conflicto Pascua Lama. Valle del Huasco, Región de Atacama (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Servicio de Evaluación Ambiental (2012). Guía de Evaluación de Impacto Ambiental: Artículo 11 de la Ley N°19.300, letra a). Riesgo para la salud de la población. Santiago, Chile.

Servicio Nacional de Geología y Minería. Ministerio de Minería, Gobierno de Chile (2011). Atlas de Faenas Mineras: Regiones de Antofagasta y Atacama (Versión actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile No 7: 153 p. Santiago, Chile.

U.S. Environmental Protection Agency (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A). Office of Emergency and Remedial Response. Washington, D.C. EPA/540/1-89/002

U.S. Environmental Protection Agency (2011 a). Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA/600/R-09/052F.

U.S. Environmental Protection Agency (2011 b). Resultados del Estudio de Congéneres de Bifenilos Policlorados (PCB). Instalación Chemical Waste Management de Kettleman Hills. Recuperado el 16 de diciembre de 2015 desde sitio web de la EPA: [http://www3.epa.gov/region9/kettleman/docs/pcb-congener-EPA-info\\_esp.pdf](http://www3.epa.gov/region9/kettleman/docs/pcb-congener-EPA-info_esp.pdf)

U.S. Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System (IRIS), [Soporte en línea], <<http://www.epa.gov/iris/>>, (revisado Septiembre 2015).